Le stockage du combustible épuisé et les garanties internationales

Approches et techniques nouvelles à l'étude pour affronter l'avenir

par V. Pushkarjov et E. Tkharev

Le stockage du combustible épuisé est un stade à part, mais important, du cycle du combustible nucléaire. Comme les décisions relatives à l'élimination des assemblages combustibles irradiés se font parfois attendre dans certains pays, les quantités de combustible épuisé entreposées augmentent constamment. Le stockage doit se faire soit sur le site même du réacteur, soit hors du site, quelle que soit l'option de gestion choisie.

Les premières centrales nucléaires ont été dotées de bassins à combustible normaux pouvant recevoir entre deux et cinq tiers du cœur. On pensait alors qu'après une période initiale de désactivation de deux ou trois ans, le combustible épuisé pourrait être expédié à l'usine de retraitement. Lorsqu'on a constaté les retards des premiers programmes de retraitement, il a fallu modifier les plans de stockage et accroître la capacité des installations existantes.

Il semblerait, par ailleurs, qu'il y ait d'autres possibilités, telles les techniques de stockage indépendant à long terme, à sec ou en milieu aqueux. On prévoit pour ces options de grandes installations centrales pouvant recevoir le combustible épuisé provenant de plusieurs réacteurs. Actuellement, le rôle de ces installations dans le cycle du combustible prend de plus en plus d'importance car la plupart du combustible épuisé y sera entreposé pendant de longues périodes avant d'être retraité ou définitivement éliminé.

Le stockage en milieu aqueux est toujours le plus couramment utilisé; c'est une bonne méthode dont on a une longue expérience. En Europe, des installations de types différents ont été étudiées et sont déjà construites ou en projet dans plusieurs pays, notamment en France, en République démocratique allemande, au Royaume-Uni, en Suède et en Union soviétique.

Quant au stockage à sec, on l'étudie actuellement pour voir s'il peut éventuellement remplacer le stockage dans des bassins refroidis à l'eau ou servir à l'élimination définitive du combustible épuisé. Des programmes expérimentaux sont en cours dans un certain nombre de pays, dont le Canada, l'Espagne, les Etats-Unis, la République fédérale d'Allemagne, le Royaume-Uni et la Suisse.

Application des garanties au combustible épuisé

L'application de garanties au combustible épuisé entreposé est un des éléments essentiels du système international des garanties mis en œuvre au niveau des installations du cycle du combustible nucléaire. L'AIEA accorde toute l'attention voulue à l'élaboration de procédures de garanties concernant le stockage du combustible irradié, mais à l'heure actuelle le problème acquiert une importance toute particulière du fait de la situation dont on vient de parler.

Il y a quelques années, le Secrétariat de l'Agence a entrepris l'étude de méthodes de contrôle du combustible épuisé entreposé séparément. En rapport avec cette

---

M. Pushkarjov est Chef de la Section des études de systèmes, du Département des garanties de l'Agence, et M. Tkharev est un de ses collaborateurs.

Ci-dessus: Un château de transport est immergé dans le bassin de l'installation suédoise CLAB destinée au stockage du combustible irradié du réacteur AFR. (Photo: SKB)

initiative, des activités sont à l'étude aux Etats-Unis, en RFA et en URSS dans le cadre des programmes d'appui aux garanties de l'AIEA. En 1983, une réunion a été organisée en Union soviétique pour examiner les problèmes de garanties posés par un type particulier d'installation de stockage en milieu aqueux dont la construction était envisagée dans plusieurs pays membres du Conseil d'assistance économique mutuelle. En 1984, l'AIEA a réuni des consultants pour étudier les problèmes relatifs à l'application des garanties au stockage hors du site du réacteur et l'évolution de la question.

Tous ces travaux ne font que souligner l'importance des problèmes que soulèvent les garanties relatives au combustible irradié et leur mise en oeuvre dans la pratique.

Procédures de garanties pour le combustible épuisé entreposé

Dans la classification des installations du cycle du combustible nucléaire aux fins de la comptabilité matières, les lieux de stockage du combustible épuisé sont considérés comme des installations à contenu dénombrable. Cela signifie que toutes les matières nucléaires sont contenues dans des articles identifiables (assemblages combustibles, conteneurs scellés, châteaux d'assemblages épuisés, etc.) pendant la durée de l'entreposage. La quantité de matières nucléaires contenue dans chaque article devrait être connue, c'est-à-dire mesurée ou évaluée. En outre, cette teneur est supposée constante (ou censée ne changer que d'une façon connue, par exemple par décroissance radioactive)

Principes fondamentaux du contrôle

Des garanties sont appliquées au stockage du combustible épuisé en vertu du Statut de l'AIEA et de deux textes fondamentaux (INFCIRC/66/Rev.2 et INFCIRC/153 [corrigé]).

Selon le second de ces deux documents, l'objectif des garanties est de «déceler rapidement le détournement de quantités significatives de matières nucléaires des activités nucléaires pacifiques vers la fabrication d'armes nucléaires ou autres dispositifs explosifs nucléaires ou à des fins inconnues, et de dissuader tout détournement par le risque d'une détection rapide». Dans les accords de garanties qui ne sont pas conclus dans le cadre du Traité de non-prolifération (INFCIRC/66/Rev.2), les objectifs ne sont pas spécifiés, mais dans la pratique ce sont essentiellement les mêmes principes qui s'appliquent.

Pour mettre en œuvre les garanties internationales, l'Agence est guidée par les objectifs techniques de la détection qui sont fondés sur trois paramètres fondamentaux:

- La quantité significative de matières nucléaires
- Le délai de détection (délai maximal entre le détournement et sa détection par l'AIEA)
- La probabilité de détection, qui détermine le degré nécessaire de fiabilité des mesures de contrôle appliquées par l'AIEA.

Pour mettre au point les méthodes de contrôle qui seront appliquées aux installations de stockage du combustible épuisé et pour évaluer les résultats obtenus, l'AIEA quantifie les objectifs de la détection de la manière suivante:

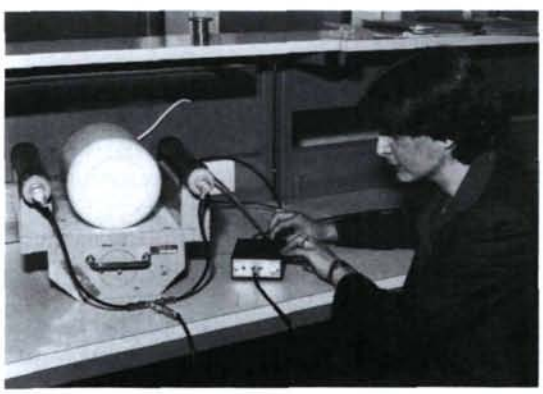
- *Quantité significative:* huit kilogrammes de plutonium (tous isotopes); 25 kilogrammes d'uranium 235 contenus dans de l'uranium fortement enrichi (à 20% ou plus); 75 kilogrammes d'uranium 235 contenus dans de l'uranium faiblement enrichi (à moins de 20%)
- *Délai de détection:* de 1 à 3 mois pour le plutonium et l'uranium fortement enrichi contenus dans le combustible épuisé; de l'ordre de 1 an pour l'uranium 235 contenu dans de l'uranium faiblement enrichi
- *Probabilité de détection:* 90 à 95%.

A partir de ces objectifs, l'Agence fixe des objectifs d'inspection pour chaque installation, compte tenu des conditions réelles d'exploitation, des dispositions de l'accord de garanties pertinent, et des possibilités techniques effectives d'application des mesures de contrôle.

Le principe fondamental des garanties de l'AIEA est de s'assurer que les matières nucléaires soumises aux garanties en vertu de l'accord ne sont pas détournées des activités nucléaires pacifiques. Dans la pratique, cette vérification est assurée par des inspections périodiques dont la fréquence est fonction des délais de détection. Cette opération s'appuie sur la comptabilité des matières nucléaires; c'est une mesure de contrôle d'une importance fondamentale que viennent compléter les mesures de confinement et de surveillance, tout aussi importantes. Elle comporte l'examen de la comptabilité et des rapports de l'exploitant relatif aux quantités de matières nucléaires présentes dans son installation et à l'usage qui en est fait, et les mesures et observations faites indépendamment par l'Agence.

Pour mettre au point un programme d'application des garanties, il faut commencer par élaborer des méthodes de contrôle adaptées au type d'installation considéré. Ces méthodes forment un système de comptabilité des matières nucléaires et de mesures de confinement et de surveillance qui doivent permettre d'atteindre les objectifs de la vérification, compte tenu de la performance des dispositifs de mesure, des caractéristiques propres à l'installation considérée, et de son mode d'exploitation.

Ce détecteur Ion-1 servant à la mesure brute des rayons gamma et des neutrons a été mis au point pour simplifier le contrôle du combustible irradié. Une stagiaire l'utilise pour sa formation aux garanties.



aussi longtemps que les articles conservent leur intégrité (voir l'encadré pour un rappel des notions fondamentales en matière de garanties).

Dans ces conditions, les garanties de l'AIEA se fondent sur des procédures de comptabilité consistant à compter et à identifier les articles, à s'assurer qu'ils conservent leur intégrité et à faire des mesures non destructives. Le confinement et la surveillance qui viennent compléter la comptabilité matières ont une importance particulière quand il s'agit de combustible épuisé. Dans la pratique du contrôle international, l'AIEA s'efforce d'utiliser le confinement ou les barrières physiques que comporte l'installation (murs, conteneurs, châteaux de transport, etc.) pour limiter ou empêcher le mouvement des matières nucléaires ou l'accès à ces matières. La surveillance à l'aide de caméras vidéo ou photographiques fournit à l'Agence, par l'intermédiaire de dispositifs spéciaux ou d'inspections, des renseignements qui lui permettent de détecter les mouvements anormaux de matières nucléaires, les violations de confinement, la falsification des relevés des emplacements et des quantités de matières, ou la violation des dispositifs de contrôle de l'Agence.

Le confinement et la surveillance peuvent ainsi fournir une information continue sur les matières soumises aux garanties, sur l'intégrité des articles et sur les mouvements de matières. La façon la plus heureuse de combiner ces diverses mesures est celle qui permet d'atteindre les objectifs des garanties moyennant des coûts raisonnables et en gênant le moins possible l'exploitation de la centrale.

Expérience de l'Agence

Il est clair que les notions fondamentales de garanties concernant le combustible épuisé ne sont que des directives générales sur le plan de l'application pratique des garanties internationales à une installation déterminée. Le combustible épuisé se présente pour la première fois quand il est défourné du réacteur et entreposé pendant quelque temps sur le site de la centrale. Par la suite, et selon l'option choisie, il est expédié soit vers une usine de retraitement, soit vers une installation de stockage provisoire ou à long terme en vue de son retraitement ultérieur ou de son élimination définitive. Il est évident qu'à chacun de ces stades les mesures pratiques d'application des garanties peuvent différer sensiblement selon le type d'installation, ses caractéristiques techniques et son régime d'exploitation, et selon la durée de l'entreposage du combustible épuisé. Si le combustible est transféré d'une installation à une autre, il faut en tenir compte lorsqu'on met au point les modalités d'application des garanties à chacune des deux installations concernées.

Pendant longtemps, la pratique de l'AIEA a consisté à ne soumettre le combustible irradié au contrôle international que lorsqu'il était entreposé sur le site du réacteur. Vers la fin des années 1970, époque à laquelle les installations de retraitement ont été soumises aux garanties, l'Agence a commencé à se faire la main au contrôle du combustible irradié entreposé dans ces installations. Depuis lors, son expérience s'est enrichie et elle a adapté ses méthodes et procédures de garanties en conséquence. Les premières installations de stockage à long terme hors du site du réacteur sont en service depuis peu dans plusieurs pays et sont soumises aux garanties.

Nous allons maintenant parler brièvement des différentes manières d'appliquer les garanties et de l'expérience acquise par l'AIEA dans le contrôle du combustible irradié entreposé dans les installations nucléaires.

Stockage sur le site du réacteur

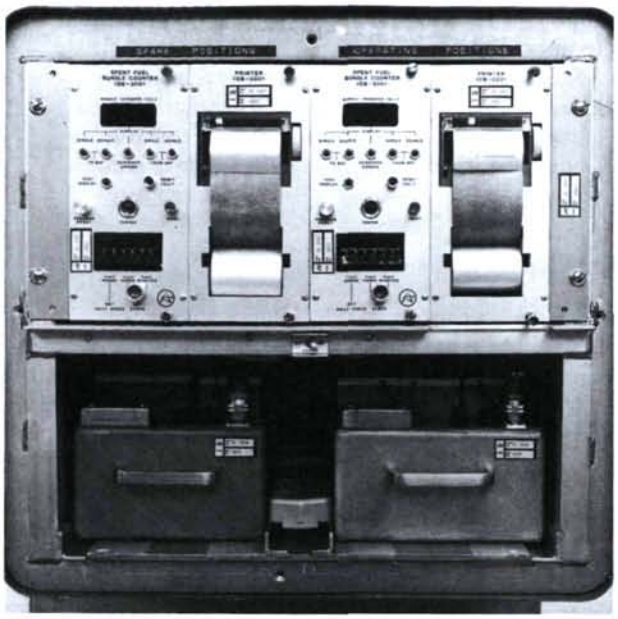
Dans la plupart des cas, le combustible irradié est conservé sur le site du réacteur dans des bassins remplis d'eau qui assurent le refroidissement et la protection contre les rayonnements. Actuellement, une centaine d'installations de ce genre sont placées sous les garanties de l'AIEA.

Les opérations de comptabilité – décompte et identification des articles, mesures par analyse non destructive, etc. – peuvent en principe s'accomplir à l'endroit même du stockage, si l'installation est dotée des instruments et du matériel nécessaires. Diverses précautions de confinement et de surveillance à l'aide de caméras de vidéo et photographiques et de scellés peuvent être prises à titre complémentaire. Les mesures par analyse non destructive offrent la possibilité de revérifier le stock de combustible épuisé en cas de défaillance du dispositif de confinement et de surveillance.

Comme nous allons le voir maintenant, certains aspects de l'application des garanties sont adaptés aux particularités des diverses filières de réacteurs de puissance.

- *Réacteurs à eau légère.* Auprès de ce type de réacteur, le combustible épuisé est en principe conservé peu de temps. Dès leur déchargement, les assemblages sont déposés dans l'eau après avoir été disposés dans des «paniers» où ils sont maintenus dans une position verticale qui permet de les compter et de les identifier aisément. La durée minimale de ce stockage peut varier, selon les cas, de 90 à 180 jours, mais il arrive de plus en plus fréquemment que le combustible doive être conservé sur place pendant bien plus longtemps, parfois pendant plusieurs années, à cause des capacités insuffisantes de retraitement. Auprès de la plupart des réacteurs, la capacité de stockage prévue est de l'ordre de deux à quatre coeurs complets.

  Tous les assemblages combustibles des réacteurs à eau légère portent à leur partie supérieure un numéro d'identification qui reste en principe lisible après irradiation, dans les conditions habituelles du stockage. Il arrive parfois, cependant, que la lisibilité ne soit pas très bonne. Le coeur de ces réacteurs est normalement rechargé tous les 12 à 18 mois, le combustible irradié étant conservé entretemps dans les bassins de stockage où les inspecteurs peuvent en faire le relevé. Mises à part les opérations de chargement du réacteur, le combustible n'est manipulé qu'au moment de son expédition à l'usine de retraitement ou à l'installation de stockage à long terme.
- *Réacteurs à eau lourde du type CANDU.* La conception de cette filière ne prévoit pas le retraitement du combustible irradié, mais son stockage à long terme. La capacité des compartiments à combustible épuisé varie selon le réacteur, mais il est toujours possible d'y adjoindre des capacités supplémentaires. Dans les centrales CANDU à plusieurs réacteurs, le compartiment



Ce compteur de faisceaux de combustible épuisé a été réalisé pour les réacteurs CANDU, dont le rechargement se fait en marche. (Photo: AECL)

de stockage primaire est conçu pour recevoir le combustible épuisé produit pendant un an d'exploitation. Les faisceaux de combustible sont placés dans des conteneurs (plateaux, paniers, modules) que l'on peut déposer horizontalement les uns sur les autres. Après un an, le combustible immergé est amené par un canal de transfert jusqu'à un compartiment secondaire dont la capacité correspond à 30 ans d'exploitation.

Les méthodes de contrôle étudiées pour les réacteurs CANDU font appel à une instrumentation et à des techniques très spéciales adaptées aux particularités de conception de ces réacteurs (chargement continu pendant la marche, stock de combustible important, difficultés d'accès pour vérification de ce stock). La comptabilité par articles et la vérification des mouvements de stock sont la base de la méthode appliquée, le contrôle de routine des mouvements étant normalement assorti de mesures de confinement et de surveillance aux fins de la vérification des stocks. Pour cette dernière opération, l'apposition de scellés au niveau du compartiment secondaire permet d'alléger considérablement la tâche d'inspection.

- *Réacteurs refroidis par un gaz.* L'AIEA a relativement peu d'expérience de l'application des garanties aux réacteurs dont le combustible irradié stocké est refroidi par un milieu gazeux. Il n'existe que trois installations de ce genre, plus une installation expérimentale de stockage en conteneurs de béton. Etant donné les retards du retraitement, on s'efforce depuis quelque temps d'accroître les capacités de stockage existantes et en construction sur les sites des réacteurs. Parmi les solutions techniques proposées, lesquelles peuvent créer des difficultés supplémentaires au moment de la vérification et influer sur les aspects pratiques des activités d'inspection, signalons la compaction, l'addition d'un second râtelier et le groupement des barreaux de combustible épuisé dans des conteneurs spéciaux. Ces innovations doivent être prises en considération lors de l'étude du plan de mise en oeuvre des garanties et appellent, dans certains cas, de nouvelles méthodes et techniques d'application.

Stockage à l'usine de retraitement

Les bassins de stockage de ces installations sont généralement conçus dans l'hypothèse d'un retraitement à brève échéance. L'espace prévu correspond à trois ou quatre mois de travail de l'usine. Les plans des grandes installations en projet prévoient une capacité de réserve qui portera les durées de stockage à 4 ou 5 ans avant retraitement.

Le combustible irradié est livré aux usines dans des châteaux de transport blindés pesant généralement de 20 à 100 tonnes et contenant entre 10 et 20 assemblages chacun. Dans les bassins, les assemblages sont rangés sur des râteliers qui les maintiennent en position verticale avec l'espacement nécessaire pour assurer la sûreté nucléaire, ou sont placés dans divers types de paniers ou autres conteneurs pour faciliter leur manutention ou pour d'autres raisons. Ces conteneurs spéciaux posent un problème au niveau des garanties, car ils empêchent de voir les numéros de série que les assemblages portent à leur partie supérieure, d'observer l'effet Cerenkov ou tout simplement de constater la présence effective des assemblages.

S'il est possible de faire un contrôle direct des assemblages dans les bassins, les procédures d'inspection sont en principe les mêmes que celles qui sont appliquées aux installations de stockage sur le site du réacteur, quoiqu'elles exigent un plus gros effort. Lorsque les assemblages sont enfermés dans des conteneurs spéciaux et ne sont donc pas directement accessibles aux fins du contrôle, ces conteneurs sont considérés comme articles de base aux fins de la comptabilité matières. On suppose que leur contenu est vérifié par des inspecteurs soit sur le site du réacteur immédiatement avant leur expédition, soit à leur réception à l'usine, et que des scellés leur sont apposés après ce contrôle.

Compte tenu du régime d'exploitation de l'usine de retraitement, la comptabilité par articles et celle des matières en vrac sont combinées pour assurer le contrôle des mouvements de combustible épuisé entre le lieu de stockage et la partie active de l'usine.

Stockage à long terme du combustible épuisé

L'Agence a acquis une certaine expérience de l'application des garanties au stockage en milieu aqueux sur les sites des réacteurs ou des usines de retraitement et il semble que les modalités d'application aux installations indépendantes de stockage à long terme du même type s'en écarteront fort peu. Néanmoins, la durée prolongée de l'entreposage, ainsi que la capacité et les particularités de conception des installations indépendantes pose de nouveaux problèmes de mise en oeuvre des garanties.

Les modalités de contrôle à base d'opérations comptables sont restreintes dans un certain nombre d'installations de stockage en milieu humide à cause des caractéristiques de ces installations et parce que les possibilités techniques d'effectuer des mesures par analyse non destructive y sont limitées. En outre, il est probable que ces mesures, lorsqu'elles sont praticables,

demanderont beaucoup de temps, vu le grand nombre d'assemblages combustibles (parfois plusieurs milliers) présents dans ces installations. Dans certains cas, lorsque les assemblages sont placés dans des paniers ou dans des conteneurs multiples, il peut même devenir très difficile de les compter et de les identifier.

La situation se complique encore lorsqu'il s'agit d'entreposage à sec, car il est matériellement impossible de contrôler le combustible par des moyens comptables puisqu'il n'est pas physiquement accessible. Les mesures de confinement et de surveillance acquièrent ainsi une importance toute particulière pour ce qui est de l'application des garanties à ces deux types d'installations.

Fort heureusement, le fait que les assemblages de combustible demeurent longtemps à la même place est une condition favorable à l'application des garanties à ces installations. Il faudrait par ailleurs s'efforcer de diversifier les mesures de confinement et de surveillance de façon à utiliser des instruments différents susceptibles de pannes différentes; on assurerait ainsi une bonne performance technique et la redondance nécessaire.

Pour les mêmes raisons, l'établissement d'un inventaire initial du combustible irradié au moment de son expédition est de toute première importance, notamment pour le combustible qui sera stocké à sec, car les conteneurs ne peuvent pas être réouverts aux fins de vérification à leur arrivée à l'installation de stockage. Des scellés à toute épreuve doivent être apposés sur les conteneurs pour garantir leur intégrité et s'assurer que leur contenu est le même à l'arrivée qu'au départ.

Il est clair que le plan d'inspection au titre des garanties sera fortement influencé par les méthodes utilisées pour transférer le combustible depuis le réacteur jusqu'au lieu de stockage à long terme. Pour mettre au point la méthode d'application des garanties, il convient de tenir compte de cette liaison qui existe entre l'expédition et la réception, afin d'optimiser les activités d'inspection et d'assurer la bonne exécution des garanties.

Il est évident que la présence obligatoire d'un inspecteur au moment de l'expédition et au moment de la réception imposera un lourde tâche au personnel d'inspection. Cette difficulté sera peut-être résolue par la mise au point de techniques perfectionnées de confinement et de surveillance qui présenteront l'avantage d'économiser les services de ce personnel. A titre d'exemple, citons deux dispositifs spéciaux actuellement à l'étude dans le cadre d'un programme d'appui aux garanties de l'Agence. Il s'agit d'un compteur d'assemblages combustibles irradiés et d'un système électronique de scellé qui permettent d'enregistrer les moments d'ouverture et de fermeture des scellés fixés sur le château de transport. L'information recueillie par ces instruments et complétée par les caméras de surveillance, tant auprès du réacteur qu'au lieu de stockage, permettra de connaître à tout moment la composition du chargement de combustible sans qu'il y ait besoin d'un inspecteur au départ et à l'arrivée.

Ces instruments ont à voir avec certains principes des garanties et ont engendré de nouvelles idées quant à la mise en oeuvre des garanties en ce qui concerne le stockage du combustible épuisé. Leur utilisation dans la pratique devrait être convenablement étudiée au cours d'essais reproduisant les conditions réelles d'emploi et visant à déterminer leur performance technique, leur fiabilité et leur degré d'inviolabilité. Les possibilités d'application de cette nouvelle technique dépendront par ailleurs, dans chaque cas, des particularités de conception de l'installation considérée.

Directives pour la conception des installations

Toutes les installations nucléaires sont soumises à un certain nombre de contraintes sur les plans de l'économie, de la technique, du droit, de la sécurité, de la sûreté, de l'environnement et autres considérations touchant à la conception, et la tâche des bureaux d'étude consiste à trouver des solutions en quelque sorte optimales. Les moyens de faciliter l'application des garanties à ces installations posent un problème supplémentaire qui doit être résolu au mieux des possibilités dès le stade de la conception. Cela est surtout vrai pour les installations de stockage du combustible irradié, car les mesures de confinement et de surveillance y jouent un rôle très important. La question a fait l'objet d'un examen approfondi à plusieurs réunions organisées par l'Agence, au cours desquelles les Etats Membres ont montré qu'ils étaient conscients des incidences du problème et prêts à prendre des dispositions pour que des directives et des recommandations dans le sens indiqué soient prises en considération dès les premiers stades de l'étude d'une installation de stockage de combustible irradié.

Bon espoir pour l'avenir

Nous venons de considérer quelques aspects généraux de l'application des garanties au combustible nucléaire épuisé, sans nous arrêter, bien entendu, à tous les détails ou particularités du système international des garanties qui concernent ce combustible. Pour ce qui est de son stockage sur le site du réacteur ou de sa mise en réserve à l'usine de retraitement, l'AIEA dispose d'un plan de mise en oeuvre des garanties qui a fait ses preuves. Les techniques d'application actuelles peuvent être utilisées avec de bons résultats dans les installations de stockage à long terme et permettront d'y atteindre les objectifs des garanties malgré les particularités que présentent les installations de ce type.