

Mise en œuvre de méthodes et de techniques modernes dans l'application des garanties

par A. von Baeckmann*

L'objectif de la politique internationale de non-prolifération est d'empêcher la propagation des armes atomiques. A cette fin, on a établi pendant les vingt-cinq dernières années un ensemble d'accords et de traités internationaux, comprenant un système international qui permet de vérifier si un Etat respecte ses engagements et de s'assurer que l'énergie nucléaire n'est détournée d'activités pacifiques pour la fabrication d'armes ou de dispositifs explosifs nucléaires. Dès sa fondation en 1957, l'AIEA a été chargée d'établir et de faire fonctionner ce système maintenant connu sous le nom de système de garanties de l'AIEA. Cet article décrit les techniques modernes de mesure et de surveillance/confinement suivies lors des opérations de garanties de l'AIEA.

La production d'armes ou d'explosifs nucléaires nécessite certaines quantités d'uranium 233, d'uranium 235 ou de plutonium, ainsi qu'une technique appropriée. Comme il est pratiquement impossible de contrôler le développement technique, le système des garanties de l'Agence est principalement fondé sur la surveillance rigoureuse des matières nucléaires. L'instrument de base des garanties est un système complet de comptabilité des matières nucléaires et de mesures de surveillance et de confinement. La comptabilité des matières nucléaires est fondée sur des rapports d'exploitants d'installations nucléaires et sur les systèmes nationaux de comptabilité et de contrôle de ces matières. La vérification indépendante de ces comptes lors des inspections de l'AIEA fait partie intégrante de ce système.

Afin de contrôler indépendamment les rapports sur la quantité et la composition des matières nucléaires, les inspecteurs de l'Agence doivent être à même de faire certaines mesures. Celles-ci se font normalement soit en prenant un échantillon représentatif qui est ensuite envoyé à un laboratoire d'analyses, soit en procédant à des analyses non-destructives sur le terrain. Chacun de ces deux procédés a ses difficultés propres et demande un matériel complexe et de hautes qualifications.

Analyses chimiques

Habituellement, les analyses chimiques aboutissent à des résultats très justes et précis, mais elles sont chères, les échantillons doivent être transportés et on n'obtient les résultats qu'après trois à cinq semaines. Les ana-

lyses non-destructives sont souvent moins précises et moins fiables mais, dans de nombreux cas, les résultats sont immédiats. La figure 1 montre un laboratoire d'analyses conçu et équipé pour l'analyse chimique de matières contenant du plutonium. Des précautions spéciales doivent être prises pour éviter que le plutonium ne s'échappe des boîtes à gants. Les travaux dans ce domaine demandent un personnel hautement qualifié et responsable. Si le plutonium est accompagné de produits de fission hautement radioactifs, des boîtes à blindage de plomb équipées de télémanipulateurs sont nécessaires. Après la séparation des produits de fission, on analyse la composition isotopique de très petits échantillons.

La figure 2 montre un spectromètre de masse à ionisation thermique entièrement automatique utilisé pour l'analyse de l'uranium et du plutonium contenus dans des échantillons prélevés au cours des inspections. Cet appareil n'est qu'un exemple de la façon dont l'électronique moderne et l'informatique peuvent être appliquées à la chimie analytique. Tous les paramètres opérationnels comme la pression, la température, le champ magnétique, le champ électrique, etc. sont contrôlés par des processeurs pré-programmés et les résultats finals — y compris les incertitudes de mesure — sont calculés en traitant des milliers de points de données dans un mini-ordinateur. Un programme d'assurance de la qualité bien planifié et bien exécuté donne des résultats sûrs. L'analyse chimique fournit presque toutes les informations quantitatives sur les matières nucléaires soumises aux garanties car elle sert soit directement pour obtenir ces résultats, soit pour l'étalonnage nécessaire aux techniques d'analyse non destructive.

Analyse non-destructive

Dans nombre de cas, l'échantillonnage et l'analyse chimique ne sont pas possibles, car les matières nucléaires se trouvent dans des gaines, barres, aiguilles, assemblages combustibles, bouteilles d' UF_6 ou autres conteneurs dont on ne peut facilement prélever un échantillon sans endommager l'intégrité. Il est évident qu'on ne peut détruire un assemblage combustible d'une valeur de 100 000 dollars pour vérifier si les matières nucléaires déclarées s'y trouvent effectivement. C'est pourquoi les techniques d'analyse non-destructive sont nécessaires pour permettre à l'inspecteur de vérifier le type et la quantité de matières nucléaires contenues dans l'assemblage. Pour ce genre de mesures, le plutonium et l'uranium ont l'avantage d'être des éléments radioactifs. Dans la pratique, on ne peut modifier le processus de la désintégration radioactive continue lié

* M. von Baeckmann est Directeur de la Division des études et de l'appui technique au Département des garanties de l'Agence. Cet article a été rédigé à partir d'un exposé qu'il a fait à l'Après-midi scientifique de la Conférence générale de l'Agence, en septembre 1980.

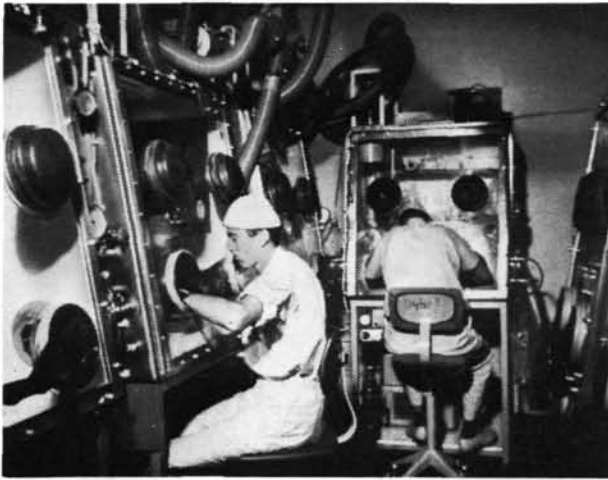


Figure 1. Laboratoire conçu et équipé pour l'analyse chimique de matières contenant du plutonium.

à l'émission d'un rayonnement caractéristique, ce qui permet de déterminer le type et la quantité de matières radioactives.

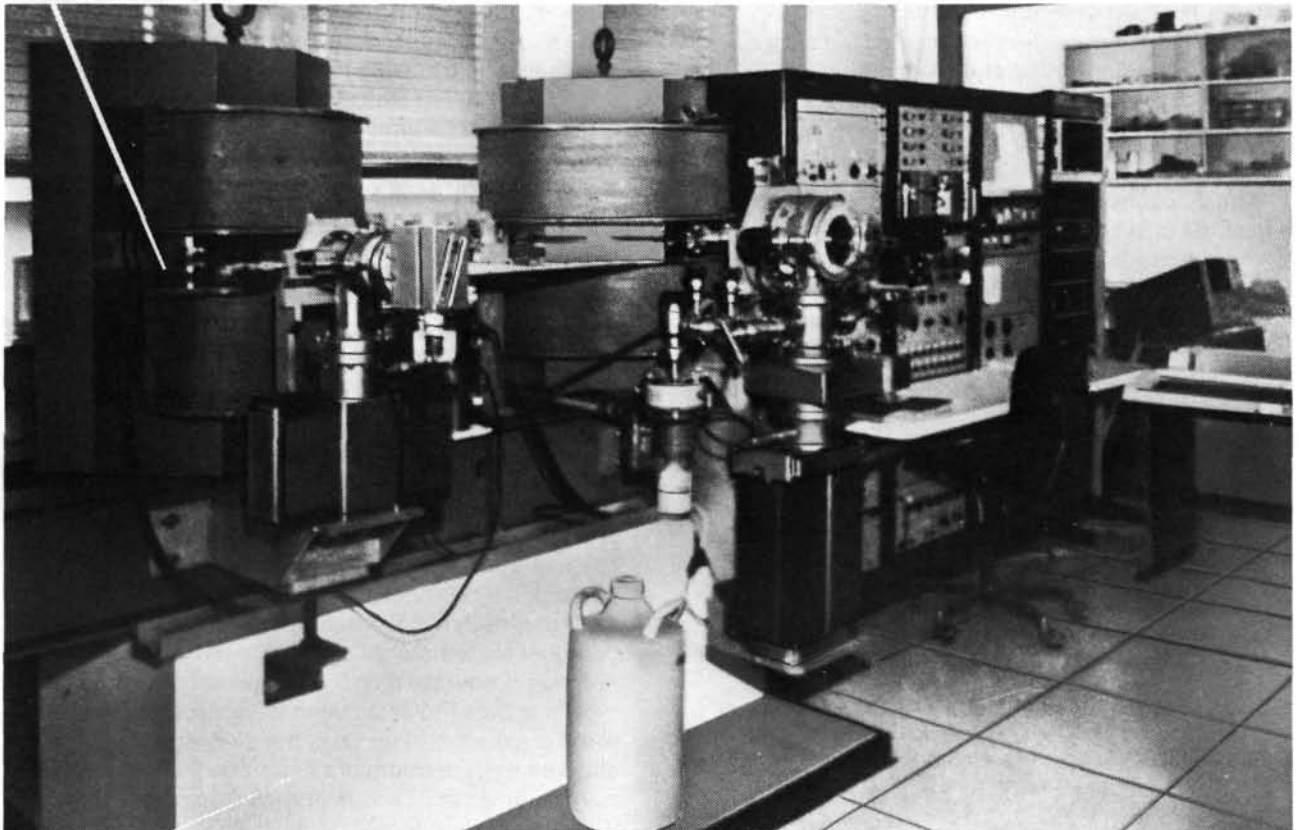
Les techniques les plus courantes d'analyse non-destructive employées pour les garanties consistent essentiellement dans la mesure du rayonnement gamma par son interaction avec la matière d'un détecteur. Les impulsions électriques qu'engendre cette interaction sont classées selon l'énergie produite dans des registres mémoires d'ordinateur. Les appareils qui exécutent cette tâche s'appellent analyseurs multicanaux. L'énergie des lignes observées permet d'identifier le type des matières; l'intensité de ces lignes, leur quantité.

On voit sur la figure 3 un analyseur perfectionné à 1000 canaux qui permet d'identifier les matières nucléaires et de mesurer leur quantité. Avec cet appareil, le spectre gamma peut être visualisé sur un tube à rayons cathodiques et enregistré sur une bande magnétique. Cette visualisation permet une identification immédiate et une détermination semi-quantitative des matières nucléaires. En traitant l'information enregistrée sur bande magnétique dans l'ordinateur central de l'Agence, on peut calculer la composition isotopique et la quantité d'uranium et de plutonium. L'analyseur multicanal montré sur cette illustration est relié à un détecteur gamma à haut pouvoir de résolution qui doit être refroidi par de l'azote liquide pendant les mesures. Ce détecteur est en germanium pur.

Comme tous les autres dispositifs électroniques, l'appareillage servant à l'analyse non-destructive bénéficie énormément de la disponibilité de composants semi-conducteurs hautement fiables, bon marché et très compacts. Des composants semi-conducteurs plus perfectionnés amélioreraient encore cet appareillage en le dotant d'un contrôle automatique de la qualité des mesures, d'une capacité complète d'analyse des données et même d'une possibilité de dialogue avec l'inspecteur. Bien que cette technique ne permette pas de mesurer directement la teneur en uranium ou en plutonium d'éléments combustibles irradiés hautement radioactifs, on peut mesurer les spectres de rayons gamma du produit de fission (qui indiquent le taux de combustion du combustible) et la teneur en uranium et en plutonium des éléments combustibles irradiés peut être calculée à partir du taux de combustion.

Pour la détermination quantitative des matières nucléaires, — en particulier le plutonium — les

Figure 2. Spectromètre de masse à ionisation thermique entièrement automatique pour l'analyse de l'uranium et du plutonium contenus dans des échantillons d'inspection.



inspecteurs de l'AIEA utilisent un autre type d'appareil; il s'agit du compteur à coïncidence à haut flux de neutrons que montre la figure 4. Cet appareil compte les neutrons émis par la fission spontanée de certains isotopes du plutonium ou de la fission induite de l'uranium 235 ou de l'uranium 233. La fission d'un atome s'accompagne habituellement de l'émission de deux à trois neutrons. Comme ils arrivent simultanément dans le détecteur, on peut les distinguer des neutrons ambiants qui n'ont entre eux aucune relation temporelle. Les mots "à haut flux de neutrons" figurent dans le nom car l'électronique de comptage et de classement a été conçue avec grand soin de façon à obtenir un taux de comptage très élevé de l'ordre de 100 000 neutrons par seconde. Un taux de comptage élevé est nécessaire lorsque la quantité de plutonium à haute teneur en Pu-240 présent dans le combustible atteint le kilogramme. Le compteur à coïncidence à haut flux de neutrons est directement relié à un petit ordinateur programmable (HP 97). Ce système a été utilisé pour l'analyse sur place d'aiguilles et de plaquettes de plutonium bien caractérisées, les résultats obtenus ayant correspondu aux données de production à moins de 2% près.

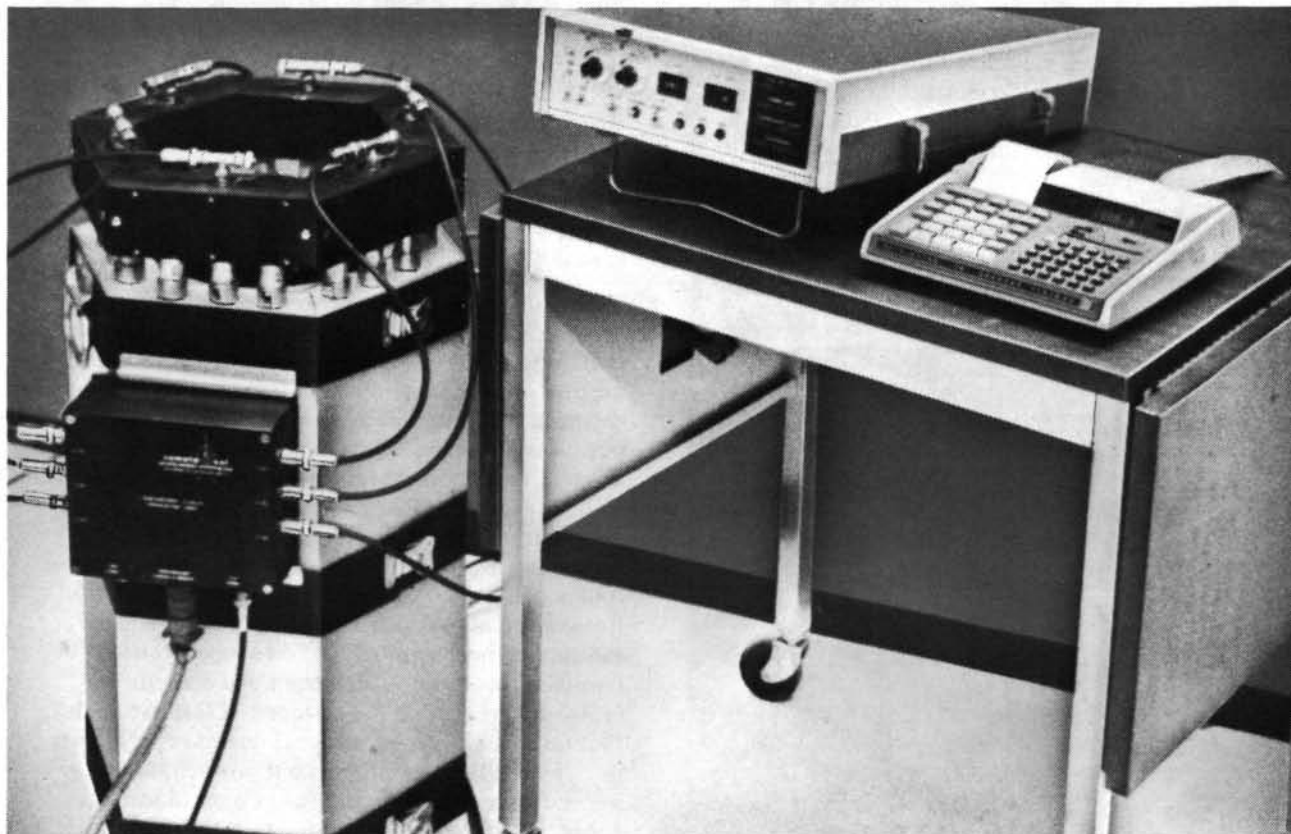
On a récemment perfectionné une technique très simple de vérification de la teneur du combustible d'un cœur de réacteur de recherche pour obtenir des résultats plus précis et semi-quantitatifs. Cette technique utilise l'effet bien connu du rayonnement de Tcherenkov. Lorsqu'un réacteur piscine de recherche fonctionne, on peut voir une intense lueur de Tcherenkov provenant du cœur. Cette intense lueur indique que le réacteur fonctionne, ce qui prouve la présence de la quantité critique minimum de combustible nucléaire. Dans bien



Figure 3. Analyseur à 1000 canaux employé par les inspecteurs de l'AIEA.

des cas, cela suffit à prouver que la quantité de matières nucléaires nécessaire à la production d'au moins un dispositif explosif nucléaire n'a pas été détournée. La lueur de Tcherenkov s'affaiblit nettement dès que le réacteur s'arrête et, trois à cinq mois après l'enlèvement du combustible du cœur, cette lueur est à peine visible à l'œil nu. Au moyen de dispositifs spéciaux d'intensification de la lumière ou d'appareils pour la vision nocturne, on peut voir la lueur de Tcherenkov et la photographier, même après une période de refroidissement de dix ans ou plus. La figure 5 montre une version très sensible de l'intensificateur de lumière qui permet la photographie. Cette technique est particulièrement utile pour contrôler l'irradiation de

Figure 4. Compteur à coïncidence à haut flux de neutrons relié à un petit ordinateur programmable.



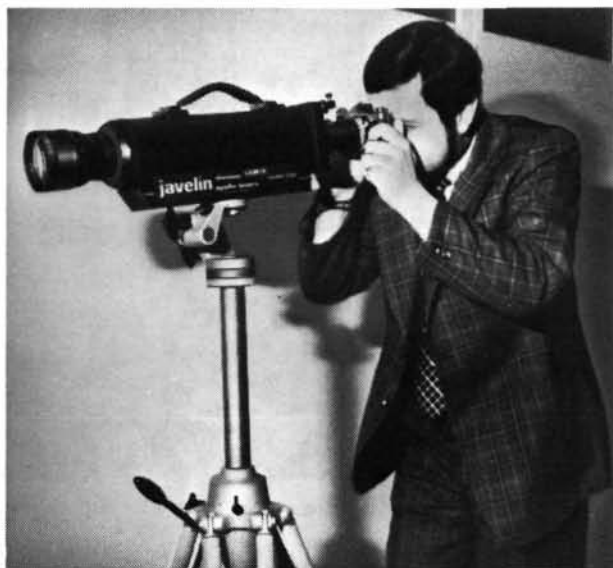
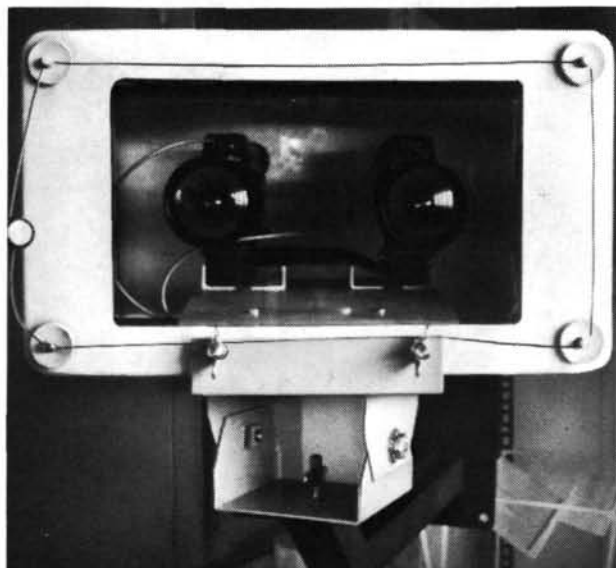


Figure 5. Intensificateur de lumière qui peut être utilisé pour prendre des photographies de la lueur de Tcherenkov d'éléments combustibles irradiés.

combustible irradié en stockage et on met actuellement au point des appareils à effet Tcherenkov qui permettront des mesures semi-quantitatives. Cette technique ne permet pas de mesurer la quantité d'uranium et de plutonium contenus dans le combustible irradié mais on peut vérifier le nombre de barres de combustible et le niveau de radiation de chaque assemblage.

La description de ces faits et de ces progrès ne doit pas donner l'impression que les techniques d'analyse non destructive sont un moyen facile de vérifier les matières nucléaires. Chaque technique permet normalement de contrôler un aspect particulier de la matière; ce n'est qu'en combinant plusieurs techniques non destructives et en procédant à des étalonnages qu'on peut évaluer crédiblement le type et la quantité des matières nucléaires. L'idéal serait un instrument d'analyse non destructive permettant un contrôle sûr, simple et facile du type et de la quantité des matières nucléaires contenues dans un assemblage combustible,

Figure 6. Système type à double caméra de l'AIEA pour la surveillance du confinement.



une bouteille d' UF_6 ou tout autre conteneur, ou dans une enceinte de stockage de combustible irradié. Tel sera le but recherché pendant encore de longues années.

Mesures de confinement et surveillance

Afin d'éviter d'avoir à procéder à nouveau à des mesures inutiles et coûteuses des matières nucléaires enfermées dans un conteneur, l'Agence applique des mesures de confinement/surveillance. Par exemple, un scellé est un moyen très simple de s'assurer que, depuis sa pose, les matières stockées dans un conteneur sont restées inchangées. Il suffit de contrôler l'intégrité de l'enceinte de confinement et du scellé, ce qui est habituellement bien moins cher et bien plus facile que de révérifier les matières.

Le principal scellé universel qu'utilise actuellement l'AIEA est le scellé métallique de type E. Chaque année, les inspecteurs de l'AIEA utilisent environ 8000 de ces scellés. Pendant les deux dernières années, on s'est beaucoup efforcé d'améliorer ce type de scellé et de le rendre moins vulnérable à la fraude. Ces scellés sont peu coûteux, petits, faciles à poser et ils sont maintenant relativement peu vulnérables à la fraude. Un de leurs plus grands inconvénients est que leur intégrité ne peut être contrôlée sur place. De nouveaux scellés universels sont à l'étude, notamment des scellés vérifiables *in situ* par ultra-sons, des scellés en fibres optiques et des scellés électroniques.

L'AIEA emploie fréquemment des caméras ou des systèmes de télévision en circuit fermé, fonctionnant à intervalles donnés pour surveiller les sorties de combustible des enceintes de stockage du combustible irradié dans les centrales ou les usines de retraitement. Pour enlever le combustible irradié d'un bassin de stockage, il faut introduire dans la salle un conteneur lourd destiné à protéger du rayonnement intense de l'assemblage combustible irradié, et le plonger dans la piscine. On peut alors charger un ou plusieurs assemblages combustibles dans le conteneur que l'on ferme, puis que l'on sort de l'enceinte et éloigne de l'installation. Il s'agit d'une opération difficile et longue qui peut être facilement décelée en examinant les films de surveillance, lesquels sont réalisés par prises de vue à intervalles de 10 à 20 minutes.

On voit sur la figure 6 le système habituel à double caméra de l'AIEA, qui consiste en deux caméras Minolta XL 401 à film super-8, équipées chacune d'une minuterie à quartz, d'un boîtier sur lequel peut être posé un scellé à l'épreuve de la fraude et d'un support de montage qui permet de l'orienter dans la bonne position. On utilise des caméras couplées pour plus de sûreté. Avec des films fins spéciaux MFX, ce système a une capacité de 7200 images — ce qui représente 100 jours de fonctionnement avec une prise de vue toutes les vingt minutes. Environ 150 de ces systèmes sont actuellement montés dans des installations aux fins des garanties de l'AIEA. Ils sont entièrement autonomes, ne nécessitent pas d'énergie électrique de l'installation et sont relativement peu coûteux (1500 dollars environ par système). L'utilisation du film fin spécial a cependant posé quelques problèmes de fiabilité. Des tests récents ont prouvé que, en milieu très humide, le film risque de se coincer. L'Agence est maintenant en train de pourvoir tous les

systèmes de caméras de matières spéciales pour scellés et de dessiccants.

Plusieurs améliorations peuvent être apportées à ce système, notamment l'emploi d'une bobine nouvelle de 60 mm d'une capacité de 14 400 images, la notation automatique de la date et de l'heure sur chaque image, la commande du temps d'exposition du film en fonction de conditions d'éclairage très différentes; une fiabilité accrue, un boîtier de conception améliorée permettant à l'inspecteur un accès plus facile ainsi que des caractéristiques améliorées du point de vue de la résistance à la fraude et des essais. On apporte actuellement beaucoup de ces améliorations à un système de caméras du type Polaroid à développement instantané. Ces caractéristiques seraient particulièrement utiles dans les cas où l'inspecteur n'est pas autorisé à sortir le film de l'installation ou de l'Etat pour le faire développer et l'examiner.

Pour que la surveillance optique soit une technique de garanties crédible, il faut que ses données soient examinées avec soin par les inspecteurs, dans la plupart des cas au Siège de l'Agence. C'est un travail particulièrement long, plein d'incertitudes, et l'ampleur de la tâche est devenue énorme. Les caméras de l'AIEA prennent maintenant des images à une vitesse moyenne de plus de dix par minute. Au cours de l'année dernière, l'Agence a mis en service un analyseur semi-automatique de films super-8. Dans cet appareil, le film est projeté dans une caméra video et le signal video est analysé par un détecteur de mouvements. Seules les images qui montrent un mouvement sont enregistrées sur un disque video et, plus tard, examinées attentivement par les inspecteurs sur un écran de contrôle. Grâce à cet appareil, les films de surveillance peuvent être examinés plus rapidement et avec plus de précision.

On utilise parfois des systèmes de télévision en circuit fermé au lieu des caméras lorsqu'une surveillance continue est nécessaire, lorsque le niveau de rayonnement est trop élevé pour la caméra et détériorerait le film, ou lorsque l'enregistrement doit être examiné sur place. Le système de télévision en circuit fermé actuellement employé par l'Agence fonctionne pratiquement comme le système de caméras. Les images sont enregistrées périodiquement sur un magnétoscope et projetées sur un écran pour le contrôle; on peut aussi retirer la bande pour l'examiner plus tard au Siège de l'Agence. D'abord, ces systèmes de pointe étaient relativement peu fiables mais, au cours de l'année dernière, un meilleur entretien a sensiblement réduit le nombre de défaillances. Certains composants des systèmes anciens s'usent; c'est le cas en particulier des magnétoscopes. Actuellement, douze appareils de télévision en circuit fermé fonctionnent dans des installations soumises aux garanties de l'AIEA.

L'Agence évalue actuellement de nouveaux systèmes de télévision en circuit fermé commandés par microprocesseurs. Ces systèmes ont été conçus de façon à améliorer la fiabilité et à simplifier les réglages et la manipulation par les opérateurs. La commande par

microprocesseur est programmée pour obtenir une capacité de surveillance minimale, même en cas d'erreur de manipulation de la part d'un inspecteur.

Le contrôle à distance de l'état de fonctionnement de l'équipement est une autre technique qui peut rendre plus fiable l'utilisation de l'instrumentation de confinement/surveillance. Cette technique est à l'étude dans un programme appelé RECOVER (contrôle permanent à distance). Ce système comprend des appareils de contrôle directement reliés au dispositif de confinement/surveillance; des multiplex installés sur place qui interrogent périodiquement les appareils de contrôle et, sur demande, envoient les données au Siège de l'AIEA et des appareils de vérifications installés au Siège de l'AIEA ou aux bureaux régionaux qui interrogent les multiplex installés *in situ*, analysent et mettent en mémoire les données transmises. Des informations anormales déclencheraient une alarme afin que le personnel de l'AIEA puisse étudier l'anomalie. Les données sont chiffrées avant d'être transmises par lignes téléphoniques ordinaires. Les réponses peuvent être immédiatement affichées sur l'écran de télévision de l'appareil de contrôle à distance ou extraites plus tard de sa mémoire. On peut donc détecter automatiquement les mauvais fonctionnements ou les fraudes sur les appareils de confinement/surveillance. Une première version du système RECOVER est actuellement à l'essai dans des installations d'Australie, d'Autriche, de Bulgarie, du Canada, de la République fédérale d'Allemagne, du Japon, du Royaume-Uni et des Etats-Unis d'Amérique.

Coopération internationale

Pour la mise au point des dispositifs et des techniques des garanties, l'Agence est grandement tributaire de la coopération des Etats Membres. Contrairement à l'Euratom, au NRC ou à d'autres organismes de garanties analogues, l'Agence n'exploite pas ses propres installations d'étude et de recherche. Son personnel contrôle et coordonne les travaux d'étude et de recherche des Etats Membres en matière de garanties. Les Etats-Unis, le Canada et la République fédérale d'Allemagne ont établi des programmes complets de soutien pour les garanties de l'AIEA et d'autres Etats, dont le Royaume-Uni, l'URSS, l'Australie, le Japon, ainsi que l'Euratom se sont déclarés prêts à apporter un soutien supplémentaire. Le Japon, la France et les Etats-Unis ont invité l'Agence à participer au programme TASTEX qui est destiné à améliorer les garanties nationales et internationales dans les installations de retraitement. L'AIEA a aussi été invitée à participer avec l'Euratom, le Royaume-Uni, les Pays-Bas, la République fédérale d'Allemagne, les Etats-Unis, le Japon et l'Australie à un projet de développement dont l'objectif est de faciliter l'application des garanties internationales aux usines d'enrichissement d'uranium de type à centrifugation gazeuse. L'Agence est très reconnaissante de ce soutien qui a déjà nettement contribué à améliorer l'efficacité de ses garanties.