

L'analyse non-destructive: Instruments et techniques pour l'application des garanties de l'Agence

Les inspecteurs des garanties de l'Agence emploient de plus en plus souvent des instruments et des techniques d'analyse non destructive pour identifier et mesurer les matières nucléaires. L'expérience a montré que ces instruments et ces techniques possèdent un certain nombre de caractéristiques qui répondent aux nécessités des activités d'inspection des garanties menées par l'Agence à travers le monde. L'analyse non destructive possède en particulier sur les méthodes de mesure destructives classiques l'avantage de l'instantanéité: les mesures peuvent être faites en l'espace d'une inspection.

Dans l'ensemble, l'analyse non destructive est moins coûteuse et plus rapide, et elle comporte souvent moins de risques que l'analyse destructive. En outre, l'analyse destructive est parfois inacceptable car elle entraînerait la destruction d'un produit fini de valeur élevée (des aiguilles de combustible prêtes à l'emploi, par exemple) ou serait particulièrement difficile à effectuer (lorsqu'il s'agit de cylindres d'UF₆, de combustible irradié, etc.). Le plus souvent, l'analyse non destructive peut être facilement renouvelée (ce qui présente un grand intérêt en cas de différend) et peut être opérée et évaluée *sur place*, ce qui permet d'éliminer les retards qu'imposent les transports internationaux de matières nucléaires généralement nécessaires pour procéder à une analyse destructive indépendante.

Il importe, d'autre part, de tenir dûment compte, au stade du développement comme à celui du choix des instruments de mesure nucléaire pour les garanties, des exigences particulières dues au fait que les missions d'inspection sont effectuées aux quatre coins du monde. Les appareils retenus doivent, notamment, être portatifs, faciles à vérifier et à réparer, susceptibles d'être étalonnés avec précision au moyen d'étalons physiques et de sources d'étalonnage; ils doivent permettre également des mesures continues. Dans son programme de développement, l'Agence privilégie le matériel compact, léger, robuste, portable et d'un prix modéré, susceptible d'être transporté par les inspecteurs et, donc, d'être soumis à leur surveillance permanente lorsqu'ils se déplacent d'un site à l'autre pour effectuer une analyse rapide et précise de matières nucléaires spéciales.

Au sein de la Division du développement et de l'appui technique de l'Agence, la Section de l'instrumentation, des méthodes et des techniques est responsable de la mise au point, de l'acquisition et des essais des instruments et des techniques destinés à: i) l'analyse destructive et non destructive; ii) la surveillance et le confinement des matières nucléaires soumises aux garanties.

La Section est chargée des études et réalisations dans ces deux vastes domaines et responsable à ce titre du programme de contrats de recherche de l'Agence, ainsi que de réalisations exécutées par des fonctionnaires de l'Agence d'un volume modeste mais d'une grande importance. L'organisation de réunions de consultants et de groupes consultatifs s'est révélée féconde pour l'orientation du programme. Récemment, le Département des garanties a lancé, en coopération avec le Gouvernement des Etats-Unis d'Amérique, un programme d'appui technique aux garanties internationales. Des programmes d'appui technique analogues établis en coopération avec d'autres gouvernements sont prêts à entrer en application. Celui qui est exécuté avec les Etats-Unis prévoit notamment des transferts de technologies variées sous forme de matériel, de moyens de formation et de services d'experts à titre gratuit.



L'analyseur multi-canaux et détecteur au germanium Silena 27 servent à mesurer les produits de fission d'éléments combustibles irradiés.

Matériels et techniques d'usage courant

L'instrument le plus largement utilisé est un compteur stabilisé, spécialement conçu pour l'analyse (SAM). Cet appareil compact et aisément transportable permet de déterminer le degré d'enrichissement de l'uranium en mesurant l'intensité des rayonnements gamma dont l'émission est caractéristique de l'uranium 235 (c'est-à-dire ceux qui possèdent une énergie de 185,7 keV) puisque cette intensité est, dans la plupart des cas, directement proportionnelle à la quantité d'uranium 235. Pour ce type de mesure, on emploie un détecteur à iodure de sodium possédant un faible pouvoir de résolution mais une grande sensibilité.

Le SAM est utilisé communément pour mesurer l'enrichissement de l'uranium (le pourcentage de U^{235} dans l'uranium) ou la teneur en uranium dans les installations de fabrication du combustible, ou lors de l'inspection des réacteurs de recherche qui utilisent des plaques d'alliage uranium-aluminium comme combustible. Ce même appareil est également employé avec un détecteur de neutrons (c'est-à-dire du type hélium 3) pour le comptage du nombre total des neutrons émis par le plutonium; ce nombre permet, après application des corrections nécessaires, d'évaluer la teneur en plutonium.

On peut aussi analyser le plutonium en mesurant l'intensité des rayons gamma possédant les énergies caractéristiques d'un isotope particulier. La résolution ou la séparation de ces énergies typiques est plus difficile dans le cas du plutonium et nécessite l'emploi d'un matériel de détection et d'analyse plus complexe. On parvient toutefois à les effectuer au moyen de l'analyseur multi-canaux Silena 27 et d'un détecteur au germanium qui sont l'un et l'autre des instruments portatifs employés par les inspecteurs.

Le système Silena offre la possibilité de recueillir et de traiter des données sur les rayons gamma, puis de les enregistrer sur une cassette à bande magnétique. Cette dernière caractéristique facilite ultérieurement l'analyse des données sur le spectre des rayons gamma à l'aide d'un ordinateur, au Siège de l'Agence. Le système sert à l'analyse de matières nucléaires contenant du plutonium telles que poudres, pastilles, plaquettes ou éléments produits dans les usines de fabrication du combustible et utilisés dans les réacteurs (assemblages critiques rapides).

On rencontre pour l'uranium certains problèmes de mesure particuliers [dans le cas, par exemple, des cylindres d'hexafluorure d'uranium (UF_6) et du combustible à l'uranium irradié] et il faut alors disposer du pouvoir de résolution élevé de l'analyseur Silena 27 et

d'un détecteur au germanium. Ainsi, pour l' UF_6 faiblement enrichi stocké dans de grands cylindres, un grand pouvoir de résolution en énergie est indispensable pour distinguer le rayonnement gamma de 185,7 keV, caractéristique de l' U^{235} , des rayonnements d'énergies voisines présents dans le fond de rayonnement. Ils proviennent de quantités résiduelles de matières radioactives telles que le Th^{234} et le Pa^{234m} qui peuvent demeurer sur les parois intérieures du cylindre à la suite d'un usage antérieur.

L'ensemble Silena 27 — détecteur au germanium sert également aux mesures sur le combustible à l'uranium irradié. Grâce à ce système à pouvoir de résolution élevé, l'intensité des rayonnements gamma d'énergies spécifiques émis par les produits de fission contenus dans le combustible est mesurée et rapportée à la combustion nucléaire et à la teneur en plutonium.

Le détecteur au germanium présente toutefois l'inconvénient de devoir être refroidi à l'azote liquide au cours de l'analyse, et ce produit doit donc être disponible sur les lieux mêmes de l'inspection. Le récipient contenant l'azote liquide accroît l'encombrement de l'appareil et les opérations de refroidissement du détecteur entraînent une perte de temps. Pour éliminer ces difficultés, on peut utiliser avec l'analyseur Silena 27 un détecteur au tellure de cadmium qui n'a pas besoin d'être refroidi. En l'état actuel de la technique, le pouvoir de résolution du détecteur au tellure de cadmium est cependant inférieur à celui du détecteur au germanium. Néanmoins, en raison de son faible encombrement, un détecteur au tellure de cadmium peut être utilisé là où un plus gros détecteur ne peut convenir comme, par exemple, dans les interstices séparant les barres de combustible dans un assemblage combustible non irradié.

Les inspecteurs utilisent aussi un compteur à coïncidence de neutrons de grande énergie destiné à mesurer sur place les grandes quantités d'hexafluorure de plutonium ou d'uranium possédant un taux d'émission neutronique élevé. Ce compteur peut servir à mesurer le plutonium dans des échantillons en vrac ou du plutonium dans des assemblages combustibles non irradiés contenant un mélange de PUO_2 et de UO_2 . Cet appareil est démontable, ce qui facilite son transport.

Techniques et appareils nouveaux pour l'analyse non destructive

Une nouvelle version du compteur stabilisé pour analyse appelé SPAM (c'est-à-dire: super SAM) sera prochainement disponible. Il a notamment pour caractéristique de posséder un micro-calculateur incorporé capable d'effectuer l'analyse mathématique des résultats des mesures effectuées, opération indispensable pour fournir des résultats d'analyse préliminaires. Le SPAM est alimenté par une pile renouvelable et sera d'abord employé avec des détecteurs à l'iodure de sodium puis avec des détecteurs au tellure de cadmium. La mise au point de ce compteur d'analyse marquera un progrès considérable dans les moyens utilisables pour l'application des garanties de l'AIEA, et l'acquisition de ces appareils figure au premier rang des priorités.

Un autre effort de perfectionnement bénéficie d'un rang de priorité élevé: il s'agit de l'amélioration et de l'accroissement de la capacité d'un scintigraphe gamma à balayage mécanique. Cet appareil utilise un matériel et un logiciel nouveaux permettant d'éliminer et de corriger les variations des mesures dues à l'irrégularité des mélanges de plutonium ou d'uranium. Il possédera un détecteur au germanium incorporé qui permettra d'employer l'appareil sur les lieux mêmes des inspections.

La Section de l'instrumentation poursuit un programme sur l'application de la calorimétrie à l'analyse non destructive du plutonium. Les isotopes du plutonium produisent en effet une quantité de chaleur mesurable essentiellement provoquée par l'émission de particules alpha. La chaleur totale produite est proportionnelle à la quantité des divers isotopes du

plutonium présents dans l'échantillon. Outre la mesure de la chaleur produite (au moyen d'un calorimètre), il faut encore déterminer la teneur isotopique, ce que l'on peut faire à l'aide d'un spectroscope à rayonnement gamma doté d'un pouvoir de résolution élevé.

Trois calorimètres à réponse rapide destinés à la mesure du plutonium sont actuellement en cours de fabrication en vue de leur évaluation par la Section de l'instrumentation. L'un sera employé pour les petits échantillons de poudre ou de pastilles de plutonium, un autre pour les boîtes d'oxyde de plutonium en vrac et le troisième pour les barres de combustible au plutonium mesurant jusqu'à quatre mètres de long. Les principaux avantages du calorimètre sont les suivants: 1) il permet des mesures très précises; 2) il ne nécessite pas l'emploi d'étalons d'analyse représentatifs; 3) l'homogénéité et la matrice de l'échantillon sont sans effet sur les mesures effectuées.

Le traitement automatique des résultats de l'analyse non destructive

Pour accélérer les opérations et améliorer la précision de l'analyse des données sur les spectres recueillies par l'analyse non destructive au cours des inspections, la Section de l'instrumentation s'est dotée d'un nouveau système d'acquisition et de traitement des données concernant les rayons gamma, comportant essentiellement un mini-ordinateur. Ce système sert au transfert systématique des données enregistrées à l'aide de bandes magnétiques en cassette sur des bandes courantes de plus grand format, sur lesquelles ces données sont stockées et demeurent accessibles à tout moment; il sert également à la réduction et à l'analyse de ces données qui permettent de connaître la composition isotopique et l'abondance. Le système peut aussi servir à la mise au point de nouvelles techniques d'analyse des rayonnements gamma. Il sera particulièrement utile pour l'analyse et l'interprétation des mesures complexes du spectre de rayonnement gamma du combustible irradié en vue de déterminer le taux de combustion et la teneur en plutonium. A plus long terme, on prévoit d'employer ce système en combinaison avec le grand ordinateur IBM 370/158 de l'Agence pour procéder à l'analyse immédiate des données sur les spectres communiquées par téléphone par les inspecteurs en mission.

Étalons pour l'analyse non destructive

La préparation, le calibrage et la vérification des étalons employés pour les instruments constituent un point crucial des applications de l'analyse non-destructive aux garanties. L'Agence possède déjà un éventail d'étalons physiques mais de nombreux problèmes pratiques doivent être résolus avant que les étalons physiques puissent être utilisés efficacement sur le terrain. Bien que l'on puisse dans certains cas précis fournir et utiliser des étalons nominalement identiques aux articles sur lesquels portent les mesures, il est généralement impossible d'employer des étalons rigoureusement identiques et l'Agence s'efforce de trouver d'autres solutions, et, notamment, d'établir des méthodes de calcul. Outre le fait qu'elle répondrait à la nécessité pratique de réduire le nombre des étalons de référence, une bonne méthode de calcul faciliterait considérablement la détection des étalons physiques faux. La comparaison réciproque des mesures opérées par analyse non destructive et des résultats des calculs offrirait une protection supplémentaire contre toute déformation des mesures absolues.

En résumé

Le développement de techniques et d'instruments pour l'application des garanties de l'Agence relève d'un programme continu exécuté avec la collaboration des divers Etats Membres. Ce type de collaboration permet de répondre aux besoins nés des tâches d'inspection des garanties et d'améliorer considérablement les moyens dont l'Agence dispose pour l'application de ses garanties internationales.