

# Rayonnements ionisants

## *Ionising radiation*

### 1. Introduction

Dans ce domaine de métrologie, les missions sont réparties entre le LNE-LNHB au CEA/Saclay (métrologie de l'activité et de la dosimétrie) et un laboratoire associé au LNE, le LNE-IRSN (dosimétrie des neutrons).

### 2. LNE-LNHB

#### 2.1. Comparaisons et collaborations internationales

Les tableaux des possibilités d'étalonnage et de mesures (CMC) du LNE-LNHB en « radioactivité » et en « dosimétrie des photons et particules chargées » ont été intégrés dans la base de données BIPM (KCDB).

En 2004, le LNE-LNHB a participé aux comparaisons internationales organisées par le CCRI (activité massique d'une solution de  $^{125}\text{I}$  et flux de neutrons d'une source de  $^{241}\text{Am-Be}$ ), aux réunions des groupes de travail CCRI (section II) relatifs aux comparaisons clés (KCWG), aux incertitudes (UCWG) et à l'extension du SIR (ESWG) ainsi qu'au premier « workshop » sur les comparaisons clés de mesure d'activité.

Dans le cadre des projets Euromet, le laboratoire a piloté le projet 721 concernant le  $^{65}\text{Zn}$  (données de décroissance, avec 10 laboratoires homologues participants) et a participé au projet Euromet 739 (comparaison des références de dosimétrie bêta, piloté par la PTB). Le LNE-LNHB a aussi organisé une comparaison bilatérale avec le NPL sur des références de curiethérapie fort débit d'iridium 192 reconnue comme une comparaison clé dans la base de données du BIPM (Euromet.RI (I)-K6).

Le LNE-LNHB a participé au deuxième « Training Workshop » du VERMI (*Virtual European Radionuclide Metrology Institute* : NPL, PTB, IRMM et LNE-LNHB) qui s'est tenu à Geel (Belgique) et consacré aux méthodes indirectes de mesure d'activité et aux techniques de préparation de sources.

Le laboratoire a maintenu par ailleurs son effort d'ouverture par sa participation à des groupes de travail internationaux (AIEA, Eurados, ISO) et à travers ses collaborations bilatérales avec l'IFIN-HH (Bucarest-Magurele, Roumanie), le VNIIM (Russie), le JNIR

Dubna (Russie), le LNMRI (Rio de Janeiro, Brésil), le CNEA (Argentine) et le RC (Pologne).

#### 2.2. Métrologie de l'activité

##### 2.2.1. Édition de nouvelles tables de données associées à la désintégration des radionucléides

Jusqu'en 1987, la « Table des radionucléides » était publiée par le CEA sous forme de quatre classeurs. En 1996, une collaboration internationale s'est formée, entre le LNE-LNHB, la PTB (Allemagne), l'INEEL (États-Unis), du LBNL (États-Unis), le KRI (Russie) et l'AIEA (Autriche). Le LNE-LNHB, avec le LBNL a assuré en outre la coordination, la compilation et l'édition des études publiées sous forme de CD-Rom et documents imprimés.

Le CD « NUCLÉIDE » contient l'ensemble des données recommandées (période radioactive, énergies et intensités d'émissions des rayonnements  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , X et électroniques ainsi que les incertitudes associées) pour les radionucléides traités pour leur intérêt dans le domaine de la métrologie ou dans des domaines variés d'applications (médecine nucléaire, environnement, cycle du combustible, etc.). Environ 200 nucléides sont étudiés en détails et le schéma de désintégration complet est disponible; pour environ 200 autres nucléides, seules les données relatives à la spectrométrie gamma et alpha sont proposées.

En 2004, une nouvelle version du CD-Rom « NUCLÉIDE » a été réalisée.

Les radionucléides évalués depuis la dernière publication ont également fait l'objet d'une édition en tant que « Monographie BIPM » publiée en deux volumes et également sur un CD-Rom. Cette publication est l'une des monographies publiées par le BIPM sur des sujets d'importance pour la mesure des rayonnements ionisants. Cette monographie devrait devenir une référence pour la communauté internationale des utilisateurs impliqués dans ce domaine, et en particulier les laboratoires nationaux de métrologie.

## 2.2.2. Développement des applications métrologiques des détecteurs cryogéniques : perspectives en spectrométrie alpha

Un bolomètre d'une conception nouvelle a permis de mesurer les spectres d'émission alpha de  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$  et  $^{244}\text{Cm}$  avec une résolution en énergie inégalée.

Ce développement fait suite au contrat d'incitation BNM (référence 01 3 003) auquel l'IAS (l'Institut d'Astrophysique Spatiale/CNRS) a répondu en 2001. Le principe de détection est la mesure très sensible de l'élévation de température consécutive à l'interaction d'une particule dans la cible du détecteur. La cible réalisée en métal offre l'avantage d'une très bonne conduction thermique garantissant une excellente conversion de l'énergie en chaleur. Pour assurer une diffusion thermique indépendante du lieu de l'interaction, une pièce intermédiaire en germanium est introduite entre la cible et le thermomètre. Le détecteur a été intégré dans le réfrigérateur à dilution de l'IAS permettant d'atteindre une température de base de 20 mK avec une stabilité en température du détecteur et de l'électronique meilleure que 0,1 %. L'électronique utilisée a comme premier étage d'amplification un FET non refroidi de très bas niveau de bruit.

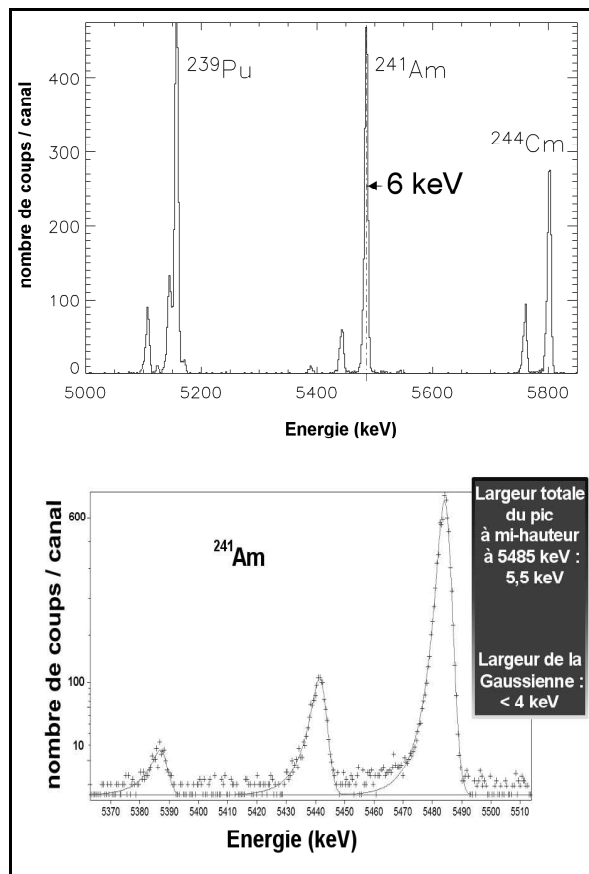


Fig. 1. - Spectres d'émission alpha d'une source mixte de  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$  et  $^{244}\text{Cm}$  et d'une source de  $^{241}\text{Am}$  mesurés avec un bolomètre alpha à thermomètre résistif et cible métallique.

Des spectres en énergie ont été obtenus avec une source de  $^{241}\text{Am}$  et une source mixte de  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$  et  $^{244}\text{Cm}$  (voir fig. 1). Dans tous les cas, la largeur à mi-

hauteur des pics est inférieure à 6 keV pour des particules alpha dont l'énergie est comprise entre 5 MeV et 6 MeV.

Les raies principales du spectre ont pu être ajustées, à l'aide du logiciel de déconvolution « Colegram » du LNE-LNHB, avec une fonction qui est le produit de convolution d'une traîne exponentielle et d'une gaussienne. La traîne correspond essentiellement à la perte d'énergie des particules alpha dans la source. La largeur à mi-hauteur de la gaussienne représente la résolution en énergie intrinsèque du détecteur. Elle est inférieure à 4 keV. Ceci laisse donc supposer une amélioration encore possible de ces résultats.

Pour la première fois en spectrométrie alpha, une résolution en énergie inférieure à 6 keV associée à un rendement quantique de détection proche de 100 %, a été obtenue avec une source extérieure au détecteur. Ce résultat inégalé confirme le potentiel des bolomètres dans un nouveau domaine de la métrologie des rayonnements ionisants : la détermination avec l'incertitude la plus faible possible des données nucléaires telles que les intensités d'émission alpha, nécessaires à la compréhension des schémas de désintégration.

## 2.3. Métrologie de la dose absorbée

### 2.3.1. Référence dosimétrique pour la curiethérapie fort débit : transfert aux utilisateurs et examen de l'application aux sources de curiethérapie à débit pulsé

Les procédures de transfert aux utilisateurs ont été rédigées en début d'année et, en mai, la première campagne d'étalonnage nationale a pu être proposée aux centres hospitaliers. Cinq centres hospitaliers, sur une cinquantaine disposant d'installations de curiethérapie ont pris part à ce premier exercice. Cette participation limitée pouvait être liée en partie au faible niveau d'équipement des centres en dosimètres de transfert adaptés (chambre d'ionisation à puits). Ce problème est aujourd'hui en grande partie résolu. En outre, différentes actions de sensibilisation ont pu être menées vers la communauté des physiciens médicaux notamment par des présentations orales au congrès annuel la Société française de physique médicale et à la participation à des rencontres d'utilisateurs organisées par le principal fabricant d'unités de curiethérapie à haut débit de dose.

La curiethérapie PDR (*Pulsed Dose Rate*) a pris un essor significatif en France ces deux dernières années en remplacement des méthodes classiques de curiethérapie à bas débit de dose par fils d'iridium ou implants de sources de césium. Ces dernières sont en effet appelées à disparaître à court terme, la production des sources ayant été arrêtée par les fabricants. Les machines de curiethérapie HDR et PDR sont de conceptions très similaires, deux différences existent pourtant : l'activité des sources PDR est vingt fois plus faible que celle des sources HDR, la conception des sources est également légèrement différente (source plus courte et gainage

légèrement plus épais dans le cas des sources PDR). Des travaux de simulation Monte Carlo, effectués à l'aide de codes d'interactions rayonnement-matière, ont été entrepris en vue d'étudier la validité des méthodes et procédures développées pour les sources HDR appliquées aux sources de curiethérapie PDR. Les premiers résultats des simulations concluent à un degré d'équivalence de  $1,002 \pm 0,002$  entre les deux types de sources. Ce résultat devra être confirmé en 2005 par des simulations plus complètes, mais d'ores et déjà il semble très probable que l'installation du LNE-LNHB sera en mesure d'étalonner l'ensemble des utilisateurs de curiethérapie en HDR ou PDR. Au cours du second semestre, des contacts ont été pris avec le *National Physical Laboratory* (NPL) qui, quelques mois après le LNE-LNHB, a développé la référence dosimétrique britannique pour la curiethérapie à haut débit de dose. Le protocole de comparaison établi conjointement en tant que projet Euromet a été accepté par le BIPM comme comparaison clé. Les mesures associées ont été effectuées en fin d'année.

### 2.3.2. Etablissement de nouvelles références dosimétriques pour le rayonnement bêta

L'impossibilité de renouveler la source de  $^{204}\text{Tl}$  faute de fournisseur, a incité le LNE-LNHB à privilégier le  $^{85}\text{Kr}$  comme source de substitution mais a nécessité l'acquisition d'un nouvel ensemble d'irradiation et l'établissement de nouvelles références en termes d'équivalent de dose directionnel. Après diverses adaptations mécaniques de l'irradiateur, les mesures de caractérisation des trois sources ( $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ ,  $^{85}\text{Kr}$  et  $^{147}\text{Pm}$ ) avec filtre ISO ont été effectuées en 2004 et ont permis de déterminer le débit de dose absorbée et l'équivalent de dose directionnel à incidence normale, à la profondeur de 0,07 mm dans les tissus. L'instrument étalon est une chambre d'ionisation à extrapolation. Cette chambre possède un volume de collection variable par déplacement de l'électrode de collection à l'aide d'une vis micrométrique. Le débit de dose absorbée dans les tissus à la profondeur de référence est obtenu à partir de la détermination de la pente de la droite « courant corrigé  $K \cdot I = f(l)$ ,  $K$  étant le facteur de correction et  $l$  étant la profondeur de la chambre » extrapolée à une profondeur de chambre égale à 0 selon la méthode décrite dans la norme ISO 6980.



Fig. 2. - Irradiateur BSS2 face à la chambre à extrapolation PTW.

Pour la source de  $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$  à 30 cm, on obtient une incertitude relative globale sur la détermination du débit de dose absorbée à 0,07 mm de 1,8 % ( $k=2$ ) avec ou sans filtre ISO. Pour la source de  $^{85}\text{Kr}$  à 30 cm avec filtre, l'incertitude est égale à 1,9 % et pour la source de  $^{147}\text{Pm}$  à 20 cm avec filtre, l'incertitude est égale à 2 %.

Ces sources sont délivrées par le fabricant avec un certificat d'étalonnage de la PTB. L'utilisation de ces certificats permet d'effectuer une comparaison indirecte avec les références du PTB. L'accord entre les résultats du LNE-LNHB et les valeurs calculées à partir des certificats d'étalonnage est inférieur ou égal à 0,3 % pour le  $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$  et le  $^{85}\text{Kr}$ . Pour le  $^{147}\text{Pm}$ , l'écart constaté (2,6 %) est supérieur à l'incertitude de mesure. Aux faibles énergies, l'atténuation importante du rayonnement bêta entre la source et le volume de collection de la chambre rend critique la mesure de la distance correspondante : une erreur de 0,02 cm sur la distance source-détecteur entraîne une erreur de 1 % sur la détermination du débit de dose absorbée pour le  $^{147}\text{Pm}$ . En 2005, le montage mécanique sera amélioré et un jeu de piges spécifiques réalisé pour diminuer l'incertitude associée à ce paramètre.

Pour valider ces références, le laboratoire a participé au projet Euromet 739 de comparaison des références de dosimétrie bêta. Les résultats n'ont pas encore été communiqués.

## 3. LNE-IRSN

### 3.1. Dosimétrie des neutrons

Le Laboratoire de Métrologie et de Dosimétrie Neutron (IRSN/DRPH/SDE/LMDN) est le Laboratoire Associé au LNE pour le domaine des rayonnements neutroniques de référence. Son accréditation n° 2.55 par le Cofrac a été renouvelé début 2004 pour une période de 5 ans, afin d'assurer le transfert vers l'utilisateur des références neutroniques national en conformité avec la norme ISO/17025.

Parmi les actions entreprises ou poursuivies en 2004, on peut citer les suivantes :

### 3.2. Intercomparaison Euromet 608

Co-organisée par la PTB, le NPL et le LNE-IRSN, elle a pour objectif de réaliser le raccordement des références neutroniques des laboratoires primaires en termes d'équivalent de dose ambiant,  $H^*(10)$ .

### 3.3. Equipement

Le remplacement de la source de californium déchargée en 2004, sera réalisé au cours de l'année 2005. L'étalonnage sera fait par le LNE-LNHB, détenteur de la référence nationale en terme de fluence neutronique (bain de manganèse). La nouvelle source scellée possédera une activité nominale de 2,6 GBq. La caractérisation de cette nouvelle source fait partie des

objectifs du laboratoire afin de poursuivre la mission confiée.

### **3.4. Raccordement**

Le raccordement externe de la source d'<sup>241</sup>Am-Be du LNE-IRSN a été initié avec le NPL (*National Physical*

*Laboratory*) en terme de fluence et d'équivalent de dose ambiant. Le résultat de ces mesures et les certificats d'étalonnage seront envoyés en 2005 et permettra d'assurer la traçabilité des références pour la période d'accréditation jusqu'en 2010.