

# Rayonnements ionisants

## *Ionising radiation*

### 1. Introduction

Les activités de cette section sont confiées au LNE-LNHB (Laboratoire national Henry Becquerel), laboratoire national de métrologie du CEA/Saclay d'une part, ainsi qu'au LMDN (Laboratoire de métrologie de la dose), laboratoire associé rattaché à l'IRSN/Cadarache, d'autre part. Elles traitent la métrologie des rayonnements ionisants dans les domaines de l'activité, de la dosimétrie des photons et particules chargées et des données fondamentales.

### 2. LNE-LNHB

On notera la concrétisation en 2008, du projet de création d'une plate-forme nationale dédiée à la radiothérapie et appelé DOSEO. Ce projet ambitieux, impliquant au premier plan les équipes du LNE-LNHB et d'un budget de l'ordre de 15 M€, devrait regrouper sur le plateau de Saclay les derniers équipements hospitaliers nécessaires à la radiothérapie, tels que le Cyberknife, appareil de thomothérapie.

Le second point à souligner est l'obtention de l'accréditation COFRAC pour les deux domaines de l'activité et de la dosimétrie, renouvelée pour une durée de 5 ans.

#### 2.1. Comparaisons et actions internationales

Dans le cadre de l'EXSA, le laboratoire a lancé une action internationale destinée à valider les paramètres fondamentaux utilisés pour des mesures quantitatives par spectrométrie X. Le premier workshop sur ce sujet a été organisé par le LNE-LNHB en octobre 2008. Il a réuni trente participants issus autant d'instituts nationaux de métrologie que de l'industrie. Un prochain workshop est prévu courant 2009.

Les mesures relatives à la comparaison clé de kerma dans l'air pour les photons du  $^{137}\text{Cs}$  ont été effectuées en novembre 2008. Les résultats sont actuellement en cours d'analyse.

L'AIEA a démarré un programme de recherche dédié à la spectrométrie gamma pour les mesures d'environnement. Le LNE-LNHB est, dans le cadre de ce CRP, responsable de la compilation des données relatives aux radionucléides identifiés. L'ensemble des éléments

fournis constitueront une base qui servira aux recommandations de l'organisation internationale.

Enfin, on notera la participation du laboratoire à la comparaison bilatérale avec le NIST sur la dose absorbée dans l'eau dans le cadre de fortes doses. Organisée par l'institut américain et soutenue par le BIPM, cette comparaison a eu pour objectif d'étudier l'effet du débit de dose sur la réponse de dosimètres. Les informations détaillées sont aujourd'hui disponibles sur le site suivant : [http://radiationdosimetry.com/comparison\\_invite.html](http://radiationdosimetry.com/comparison_invite.html).

#### 2.2. Métrologie de l'activité

##### 2.2.1. Gestion numérique des temps morts appliquée à la métrologie de l'activité

Le laboratoire travaille aujourd'hui à la pérennisation de ses instrumentations qui utilisent actuellement, pour la gestion des temps morts, des chaînes de comptage de technologie analogique. Le LNE-LNHB a démontré, dans ce domaine, un savoir-faire largement reconnu par les LNM étrangers. L'enjeu du présent projet est donc d'exporter ce savoir-faire sur de nouvelles instrumentations à base de technologie numérique. Plusieurs équipements de référence sont concernés, dont la scintillation liquide, les détecteurs germanium, et le cristal-puits.

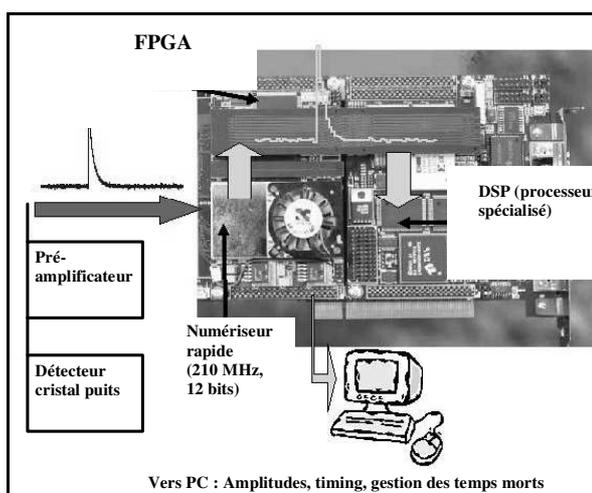


Fig. 1. – Schéma de principe de l'acquisition des comptages pour une mesure cristal-puits.

La méthode de gestion des temps morts est réalisée par un module à électronique analogique qui impose un temps mort donné. Ce dernier est reconduit autant de fois que nécessaire, tout le long de la réalisation de la détection ; alors que le temps actif est, lui, mesuré en parallèle. La migration au signal numérique est réalisée au plus près du détecteur ; toutes les fonctions sont alors appliquées sous forme d'algorithmes sur les échantillons numérisés du signal. Deux prototypes ont été réalisés en 2008.

Le premier consiste en une carte d'acquisition au format PCI. Celle-ci a été testée sur l'instrumentation cristal-puits du laboratoire. Le traitement des temps morts à partir des données compressées du signal a été développé par le laboratoire. Les tests de comparaison entre la chaîne d'acquisition classique et la nouvelle ont montré un écart inférieur à un pour mille, sans perte de comptage sur toute la gamme prévue au cahier des charges : la faisabilité du concept, dont le principe est schématisé sur la figure 1, est donc validée.

Le deuxième prototype, actuellement en cours de test, vise l'instrumentation de mesure des coïncidences. Cette chaîne d'acquisition est particulière car elle nécessite la gestion simultanée de plusieurs voies. Les premiers tests montrent que la puissance des FPGA est suffisante pour ce type d'acquisition.

A l'issue de cette première année de travail, la faisabilité est démontrée pour deux équipements de référence. Il s'agit à présent d'améliorer les performances de ces prototypes, afin d'élargir leur domaine d'application aux autres techniques de mesure du laboratoire.

### 2.2.2. Rénovation du banc de mesure primaire par compteurs proportionnels triples

La mesure de gaz radioactifs par la méthode des compteurs proportionnels triples a été développée il y a plus de 30 ans au laboratoire. Une étape importante a été franchie cette année puisqu'une jouvence de cette installation vient d'être réalisée. L'installation a, en effet, fait l'objet d'une rénovation de ses éléments mécaniques, mais aussi d'une analyse des dysfonctionnements précédemment constatés sur les compteurs proportionnels.

Le principe de cette méthode de mesure est d'utiliser trois compteurs proportionnels de longueurs différentes, dans le but d'obtenir une mesure d'activité primaire d'un gaz radioactif  $\beta$ , essentiellement  $^3\text{H}$ ,  $^{85}\text{Kr}$  et  $^{133}\text{Xe}$ . Les trois compteurs fonctionnent en parallèle et leurs comptages sont soustraits deux à deux, ce qui permet de s'affranchir des effets en bout de compteur. Le comptage n'est effectué que sur une fraction de l'échantillon de départ : il est donc indispensable d'avoir une connaissance très précise des volumes de l'installation. Le schéma de cette dernière est présenté sur la figure 2.

Tous les volumes du banc ont été mesurés précisément (volume de ligne, volume du casse ampoule), à l'aide d'un volume de référence. Ce dernier a été déterminé par pesée, avec un liquide de remplissage (éthanol), de densité contrôlée.

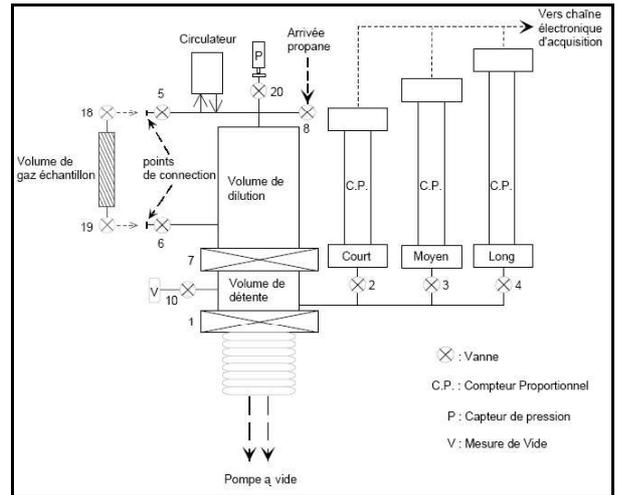


Fig. 2. – Schéma de principe du banc de mesure d'échantillons gazeux.

Une première vérification des fonctionnements des détecteurs a montré que les régimes d'utilisation des trois compteurs n'étaient pas strictement proportionnels. Un démontage, nettoyage et remontage a permis de rectifier cette situation. La figure 2 présente les courbes de fonctionnement de ces compteurs une fois rénovés : l'influence de la haute tension sur le taux de comptage est minimisée sur le plateau autour de 1 600 V.

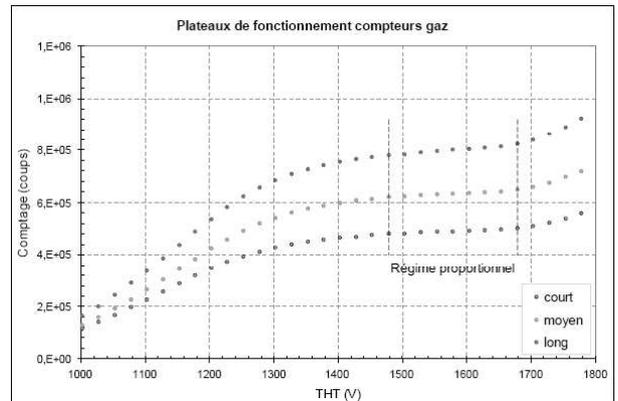


Fig. 3. – Paliers de fonctionnement des trois compteurs gaz après rénovation.

Enfin, des mesures d'activité d'ampoules de  $^{85}\text{Kr}$  ont été réalisées sur le banc, afin d'en valider la rénovation. Elles ont été comparées à celle effectuées avec des chambres d'ionisation et présentent un écart inférieur à 1 %. Ce résultat donne donc une bonne confiance dans la qualité des opérations de rénovation du banc. Les résultats de la comparaison internationale de  $^{85}\text{Kr}$  permettront de qualifier ultérieurement la méthode du laboratoire et d'en confirmer la justesse des résultats par rapport aux autres laboratoires nationaux de métrologie. In fine, cela permettra au LNE-LNHB de proposer à nouveau des raccordements COFRAC dans le domaine des gaz.

## 2.3. Métrologie de la dose

### 2.3.1. Etablissement de la référence nationale dans le domaine des fortes doses

De nombreuses activités industrielles utilisent les rayonnements ionisants dans le domaine des fortes doses (1 Gy à  $1 \cdot 10^5$  Gy). La majeure partie de ces dernières concernent la stérilisation (produits sanguins, agro-alimentaires ou médicamenteux).



Fig. 4. – Irradiateur GammaCell, permettant de réaliser des irradiations aux  $^{60}\text{Co}$  allant d'une dizaine de grays jusqu'à 100 000 Gy.

Un nouvel irradiateur, le GammaCell (en photographie sur la figure 4) a été acquis en 2007. Il permet de réaliser des irradiations au  $^{60}\text{Co}$  dans la gamme des fortes doses. Le dosimètre de transfert retenu pour établir cette référence est le dosimètre à l'alanine du fait de son équivalence à l'eau, de sa large plage de sensibilité en terme de dose et de la faible dépendance de sa réponse en fonction de l'énergie des photons notamment. La référence dosimétrique est basée sur la quantification de la modification de conformation de pastilles d'alanine par résonance paramagnétique électronique. L'année 2008 a donc été principalement consacrée à l'établissement de cette nouvelle référence forte dose.

L'irradiateur fortes doses Gamma Cell 220 a été étalonné en termes de dose absorbée dans l'eau par raccordement à la référence primaire de radiothérapie du laboratoire  $^{60}\text{Co}$ . Une fois son débit de dose déterminé, la Gamma Cell 220 a permis d'établir la courbe de référence fortes doses, c'est à dire, la courbe de variation du signal RPE de l'alanine en fonction de la dose absorbée entre 1 200 Gy et 90 000 Gy.

Les facteurs correctifs à appliquer au signal brut ont été déterminés et ont contribué à l'établissement du bilan global des incertitudes. Le débit de dose de l'irradiateur fortes doses est connu avec une incertitude de 0,85 % à  $k = 1$  et il est possible de mesurer les doses délivrées à des dosimètres à l'alanine entre 1 % et 1,8 % ( $k = 1$ ) entre 1 200 Gy et 90 000 Gy.

Deux comparaisons préliminaires ont été réalisées afin de confronter cette nouvelle référence nationale à celle de nos homologues étrangers. Les résultats préliminaires montrent qu'elles sont compatibles.

Suite à la comparaison organisée par le BIPM CCRI(I), qui a eu lieu en février 2009, deux nouvelles lignes devraient être ajoutées d'ici la fin de l'année à la portée détaillée du COFRAC du laboratoire.

### 2.3.2. Développement des lignes RX de basses et moyennes énergies

Cette étude a consisté en l'établissement d'une référence dosimétrique en kerma dans l'air pour les faisceaux de rayons X allant de 10 kV à 260 kV. Une chambre d'ionisation à paroi d'air permet la mesure directe de cette grandeur à partir de la quantité de charge collectée dans un volume d'interaction donné. Il est directement raccordé aux unités électriques et dimensionnelles de base : cet instrument constitue ainsi un étalon primaire dans la gamme d'énergie choisie.

Deux bancs d'irradiation ont ainsi été installés et validés. Le premier pour le domaine allant de 10 kV à 60 kV ; le second allant de 20 kV à 250 kV. Chaque installation est équipée d'un détecteur étalon, dont les dimensions sont spécifiquement adaptées à la gamme d'énergie considérée, afin de répondre aux conditions d'équilibre électronique nécessaires à la mesure. Ces deux détecteurs sont des chambres d'ionisation à parois d'air. La figure 5 montre le détecteur de la ligne de basse énergie.

Des calculs à l'aide de codes de simulation par méthode de Monte Carlo, couplés à des mesures expérimentales ont permis d'obtenir les facteurs de correction pour ces détecteurs primaires. Plusieurs faisceaux, de différentes qualités, ont été caractérisés sur ces bancs de mesure, en terme de CDA.

L'incertitude ainsi obtenue sur le kerma dans l'air est de 0,31 % ( $k = 1$ ). Dans le cas de l'étalonnage d'une chambre d'ionisation, la meilleure incertitude type obtenue pour le coefficient d'étalonnage est de 0,39 % ( $k = 1$ ). Ces valeurs sont comparables à celles obtenues par les laboratoires homologues internationaux.

Afin de valider ces résultats, le LNHB a participé à deux comparaisons internationales. Le rapport de la première, réalisée avec le BIPM, a été publié en 2008. Les résultats de la seconde, effectués dans le cadre d'EURAMET, sont en cours de traitement. Ce travail devrait être finalisé courant 2009, via la comparaison pour les basses énergies avec le BIPM.

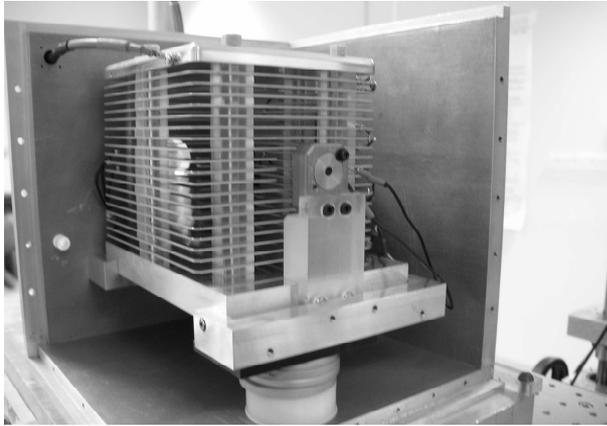


Fig. 5. – Chambre d'ionisation à parois d'air WK07, pour le domaine des rayons X de 10 kV à 60 kV.

### 3. LNE-IRSN

Le laboratoire de métrologie et de dosimétrie des neutrons (IRSN/DRPH/SDE/LMDN) de l'IRSN est laboratoire associé au LNE-LNHB pour les activités en dosimétrie des neutrons. Il est en charge des références neutroniques, ainsi que de leur transfert aux utilisateurs.

#### 3.1. Actions internationales

Dans le cadre d'EURAMET, le laboratoire a participé conjointement avec le PTB, en juin 2008 à la comparaison internationale 936, organisée par le NPL. Les résultats préliminaires ont été présentés lors de la réunion d'avril 2008 du CCRI (III). Les résultats finaux donneront lieu à une publication lors de la 11<sup>e</sup> édition de la conférence NEUDOS, à Cape Town, en octobre 2009.

Le LNE-LMDN participe, en tant que membre technique, à l'élaboration des normes internationales dans le domaine de la radioprotection et plus particulièrement dans celui des champs neutroniques de référence. La norme ISO12789-2, relative aux champs de neutrons simulant ceux des postes de travail, a été publiée en juin 2008.

#### 3.2. Développement des références

##### 3.2.1. Développement d'un télescope à proton de recul

Le développement de la nouvelle référence en énergie et fluence, *via* le développement d'un télescope à protons de recul (cf. schéma de principe en figure 6a) a continué cette année : les deux premiers prototypes réalisés sur l'exercice précédent ont été testés auprès de l'accélérateur AMANDE.

Les premiers tests ont permis de valider l'utilisation de capteurs CMOS pour enregistrer la trace des protons de recul. Ils ont cependant mis en évidence la création importante de particules chargées parasites dans l'environnement des cellules détectrices (cartes PCB, électronique de traitement...). Ce point spécifique est donc actuellement à l'étude : la mécanique ainsi que l'électronique intégrée sont en cours de révision pour la réalisation du détecteur final.

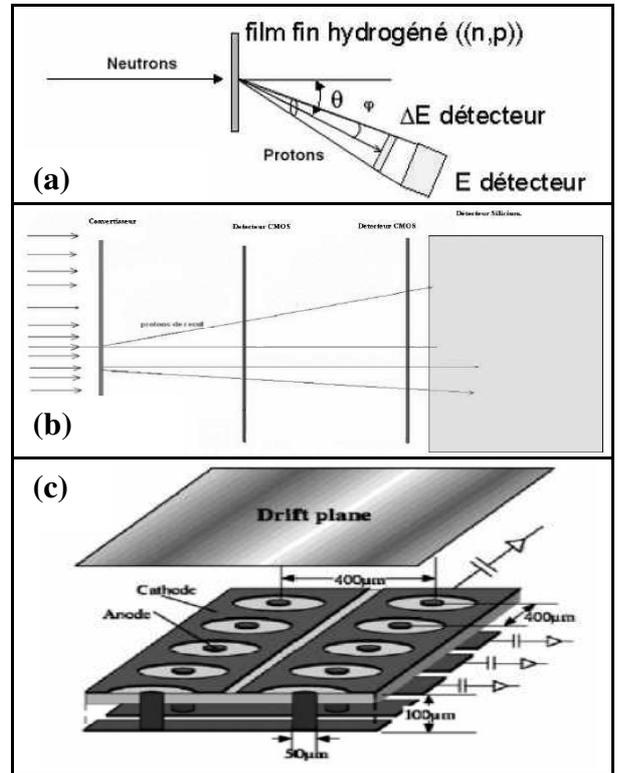


Fig. 6. – (a) Principe du télescope à protons de recul, constitué d'un film convertisseur hydrogéné et d'un détecteur de noyaux de recul ; (b) Schéma d'un détecteur à base cellule CMOS et matérialisation des trajectoires des noyaux de recul induits par réaction sur le convertisseur ; (c) Schéma d'une  $\mu$ TPC avec anodes pixellisées.

##### 3.2.2. Mesures de temps de vol

Le but de cette étude est de mettre en place une méthode permettant de déterminer l'énergie des neutrons de manière directement traçable sur les étalons nationaux de temps et de longueur. Elle consiste à mesurer le temps de vol, à savoir le temps mis par le neutron issu de la réaction sur la cible pour parcourir la distance entre sa source et son lieu d'interaction dans le détecteur. L'énergie cinétique de cette particule peut ainsi être déduite par calcul.

Durant cette année, le laboratoire a mis en place l'électronique, qui a été également testée. Plusieurs séries de mesures ont permis de déterminer les différentes contributions à la résolution du pic neutron, ainsi que l'incertitude ainsi déduite sur l'énergie des neutrons.