

## I - Présentation succincte du LNHB-LMD

Le LNHB (Laboratoire National Henri Becquerel) est le Laboratoire National de Métrologie (LNM) français pour les rayonnements ionisants. Dans ce cadre, il est l'un des laboratoires nationaux de métrologie fédérés par le LNE (Laboratoire National de métrologie et d'Essais). L'ensemble formé par les laboratoires du LNE, ces laboratoires nationaux, et quelques laboratoires associés, couvrent l'ensemble des domaines de la métrologie. Le LNHB est composé de laboratoires s'occupant de la métrologie de la dose et de celle de la radioactivité et d'une « cellule » chargée de l'évaluation des données nucléaires et atomiques associées à la désintégration des radionucléides. Le LMD (Laboratoire de Métrologie de la Dose) est le laboratoire de dosimétrie du LNHB.

Le LNHB est chargé des principales missions suivantes en matière de rayonnements ionisants :

- Améliorer les références nationales et développer de nouvelles références nationales au moyen de recherches pouvant avoir des implications métrologiques, en liaison avec d'autres laboratoires de recherche français et étrangers.
- Maintenir les références nationales et permettre l'accès direct ou indirect des utilisateurs à ces références métrologiques.

Au titre de la seconde mission mentionnée ci-dessus, le LMD pratique, dans le cadre de la chaîne nationale d'étalonnage COFRAC, pour la dosimétrie des photons et des électrons :

- des raccordements dosimétriques de Laboratoires d'Etalonnage Accrédités par le COFRAC pour effectuer des étalonnages. *Les Laboratoires d'Etalonnage Accrédités ont pour mission de transférer les références aux utilisateurs*
- des prestations d'étalonnage dans le domaine médical et dans celui de la radioprotection, cela sur site ou dans ses propres faisceaux (si les LEA ne peuvent répondre à la demande).

Les étalonnages sur site sont réalisés en France métropolitaine par transfert ionométrique (mesure dans les faisceaux clients au moyen de chambres d'ionisation préalablement étalonnées dans les faisceaux du LMD).

Les prestations comprennent entre autres : l'irradiation de dosimètres passifs et actifs, l'étalonnage de chaînes de mesures comportant une chambre d'ionisation associée à son électronique de mesure.

Le LMD peut aussi communiquer les adresses de services susceptibles de répondre à des demandes de prestations lorsque ses moyens propres ne lui permettent pas de les réaliser.

Le LNHB maîtrise les outils de modélisations par la méthode de Monte-Carlo et peut réaliser des études de dosimétrie numériques.

Pour les techniques de dosimétrie passive, le LMD met en œuvre la dosimétrie de Fricke et la dosimétrie par Résonance Paramagnétique Electronique (RPE) de l'alanine pour les fortes doses. Il entretient une veille en matière de dosimétrie par thermoluminescence. Les techniques de dosimétrie actives utilisées au LMD sont la calorimétrie, et les mesures par chambres d'ionisation (à paroi d'air, à extrapolation, à puits et à cavité remplie d'air).

## II - Récapitulatif des prestations proposées par le LNHB LMD

Les prestations font l'objet de devis dont le montant est estimé en fonction de la nature et de la durée du travail ainsi que, pour les prestations sur site, de la localisation géographique des installations sur lesquelles le personnel du LNHB est amené à travailler. Pour les étalonnages réalisés auprès des installations du LMD, le transport et les formalités administratives éventuelles pour l'envoi de matières radioactives sont à la charge du demandeur.

A - Etalonnage d'un dosimètre dans un faisceau de radiothérapie de photons gamma du  $^{60}\text{Co}$  en termes de :

- Kerma dans l'air
- Dose absorbée dans l'eau
- Dose dans l'eau + Kerma dans l'air (pour un même dosimètre)

Possibilité d'envoyer plusieurs chambres associées à un même électromètre.

B - Etalonnage d'un dosimètre dans un faisceau de RX de haute énergie (LinAc Saturne 43F) en termes de dose absorbée dans l'eau ( $0,67 < TPR_{10}^{20} < 0,79$ )

C - Etalonnages combinés d'un dosimètre dans un faisceau de RX de haute énergie (LinAc Saturne 43F) et de photons gamma du  $^{60}\text{Co}$  en termes de :

- Dose absorbée dans l'eau RX haute énergie + Kerma dans l'air au  $^{60}\text{Co}$
- Dose absorbée dans l'eau RX de haute énergie + Dose dans l'eau au  $^{60}\text{Co}$
- Dose absorbée dans l'eau en RX de haute énergie + Kerma dans l'air et Dose dans l'eau au  $^{60}\text{Co}$

D - Etalonnage d'un dosimètre dans un faisceau d'électron de haute énergie (LinAc Saturne 43) en termes de dose absorbée dans l'eau (chambre plane  $3,46 < R_{50} < 7,31 \text{ g/cm}^2$ ; chambre cylindrique  $R_{50} = 7,31 \text{ g/cm}^2$ )

E - Etalonnages combinés d'un dosimètre dans un faisceau d'électrons de haute énergie (LinAc Saturne 43) et de photons gamma du  $^{60}\text{Co}$  en terme de :

- Dose absorbée dans l'eau en électrons de haute énergie + Kerma dans l'air au  $^{60}\text{Co}$
- Dose absorbée dans l'eau en électrons de haute énergie + Dose dans l'eau au  $^{60}\text{Co}$
- Dose absorbée dans l'eau en électrons de haute énergie + Kerma dans l'air et Dose dans l'eau au  $^{60}\text{Co}$

F - Etalonnage d'une chambre à puits pour les photons gamma d'une source de  $^{192}\text{Ir}$  (HDR ou « PDR ») en terme de Kerma de référence dans l'air,  $K_R$

G - Etalonnage pour le radiodiagnostic et la mammographie en RX pulsé de faible et moyenne énergies en termes de Kerma dans l'air :

- Radiodiagnostic : 40 à 150 kV –  $1 < \text{CDA} < 5,7 \text{ mm d'Al}$
- Mammographie : 22 à 49 kV –  $0,26 < \text{CDA} < 0,83 \text{ mm d'Al}$

H – Etalonnage de dosimètres individuels et de dosimètres de zone pour la radioprotection dans les faisceaux de photons gamma du  $^{60}\text{Co}$  et du  $^{137}\text{Cs}$  et de rayonnement bêta émis par les sources de  $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ ,  $^{85}\text{Kr}$  et  $^{147}\text{Pm}$  en terme d'équivalents de dose (ambiant ou directionnel, et individuel).

I – Irradiation de dosimètres passifs dans tous nos faisceaux de photons et de rayonnement bêta.

- Equivalents de dose ambiante ou directionnel
- Equivalent de dose individuel
- Kerma dans l'air
- Dose absorbée dans l'eau

J - Raccordement d'un Laboratoire d'Etalonnage Accrédité pour les photons gamma du  $^{60}\text{Co}$  et du  $^{137}\text{Cs}$ , soit sur site, soit en étalonnant le dosimètre de référence de ce laboratoire

- Kerma dans l'air
- Equivalent de dose

Dans le cas des options B, C, D, E et F les étalonnages sont réalisés au cours de campagnes d'étalonnage. Deux campagnes d'étalonnage pour les RX de haute énergie, deux campagnes d'étalonnage pour les électrons de haute énergie et une campagne d'étalonnage pour la curiethérapie HDR ou PDR sont organisées chaque année.

Les étalonnages correspondants aux options A, G, H, I et J sont réalisés tout au long de l'année en fonction des demandes et de la disponibilité des installations.

Suivent ci-après 3 tableaux résumant les informations ci-dessus toute en fournissant des données supplémentaires relatives aux domaines d'étalonnage en termes de débit dosimétrique et de qualité des faisceaux et aux incertitudes minimales associées. Des étalonnages en termes d'équivalent de dose individuel peuvent aussi être réalisés. Ne sont pas inclus dans ces tableaux, les références dosimétriques en cours d'établissement. Ainsi le LNHB travaille actuellement sur l'extension des références en termes de dose absorbée dans l'eau pour des faisceaux d'électrons de haute énergie ( $E < 9 \text{ MeV}$ ), et en termes de kerma dans l'air pour les RX de faible et moyenne énergie jusqu'à 320 kV (faisceaux continus).

Tableau récapitulatif des possibilités d'étalonnage avec certificat COFRAC en termes de qualité des faisceaux, domaines et grandeurs d'étalonnage

Type de faisceaux	Domaine de mesure (qualité des faisceaux ou débit dosimétrique*)	Grandeurs d'étalonnage
$^{60}\text{Co}$	20 $\mu\text{Gy/h}$ à 30 Gy/h A partir de 20 $\mu\text{Sv/h}$	$K_{\text{air}}$ , $D_{\text{eau}}$ , $H^*(10)$ ,
$^{137}\text{Cs}$	20 $\mu\text{Gy/h}$ à 0,5 Gy/h A partir de 20 $\mu\text{Sv/h}$	$K_{\text{air}}$ , $H^*(10)$ ,
$^{192}\text{Ir}$ (curiethérapie) HDR : « PDR » **	40 à 17 mGy/h à 1 m 5 à 2 mGy/h à 1 m	$\dot{K}_R$
RX Haute Energie (HE)	$0,67 < TPR_{10}^{20} < 0,79$	$D_{\text{eau}}$
Electron HE Chambres planes : Chambres cylindriques :	$3,46 < R_{50} < 7,31 \text{ g/cm}^2$ $R_{50} = 7,31 \text{ g/cm}^2$	$D_{\text{eau}}$
Particules bêta, source de $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ ; $^{85}\text{Kr}$ , $^{147}\text{Pm}$	0,8 mGy/h à 0,15 Gy/h	$D_t(0,07)$ , $H'(0,07, \alpha)$
RX Radiodiagnostic : Mammographie :	40 à 150 kV : $1 < \text{CDA} < 5,7 \text{ mm d'Al}$ 22 à 49 kV : $0,26 < \text{CDA} < 0,83 \text{ mm d'Al}$	$K_{\text{air}}$

\* les valeurs de débit sont indicatives, elles peuvent varier en fonction de la décroissance radioactive de sources ou de leur remplacement.

\*\* Les étalonnages en PDR sont effectués avec une source HDR de faible activité (< 50 GBq)

**Caractéristiques des champs de rayonnements, grandeurs d'étalonnage associées et incertitudes minimales associées aux résultats pour les étalonnages sur site**

Grandeur de Référence	Nature de la prestation	Incertitude minimale % (k = 2)	Débit * minimal	Débit * maximal
Débit de kerma dans l'air	Etalonnage de faisceaux de photons du $^{60}\text{Co}$ de radiothérapie par transfert au moyen d'une chambre d'ionisation	1,2	$1,00 \cdot 10^{+1} \text{ Gy.h}^{-1}$	$1,80 \cdot 10^{+2} \text{ Gy.h}^{-1}$
Débit de kerma dans l'air	Etalonnage de faisceaux de photons collimatés du $^{137}\text{Cs}$ ou du $^{60}\text{Co}$ par transfert au moyen d'une chambre d'ionisation	1,2	$1,00 \cdot 10^{-5} \text{ Gy.h}^{-1}$	$1,00 \text{ Gy.h}^{-1}$
Débit de kerma dans l'air	Etalonnage de faisceaux de photons non collimatés du $^{137}\text{Cs}$ ou du $^{60}\text{Co}$ par transfert au moyen d'une chambre d'ionisation	2,3	$1,00 \cdot 10^{-5} \text{ Gy.h}^{-1}$	$1,00 \text{ Gy.h}^{-1}$
Débit d'équivalent de dose ambiant	Etalonnage de faisceaux de photons collimatés du $^{137}\text{Cs}$ ou du $^{60}\text{Co}$ par transfert au moyen d'une chambre d'ionisation	4,5	$1,00 \cdot 10^{-5} \text{ Sv.h}^{-1}$	$1,00 \text{ Sv.h}^{-1}$
Débit d'équivalent de dose ambiant	Etalonnage de faisceaux de photons non collimatés du $^{137}\text{Cs}$ ou du $^{60}\text{Co}$ par transfert au moyen d'une chambre d'ionisation	5,0	$1,00 \cdot 10^{-5} \text{ Sv.h}^{-1}$	$1,00 \text{ Sv.h}^{-1}$
Débit de kerma dans l'air	Etalonnage de faisceaux de photons collimatés du $^{137}\text{Cs}$ ou du $^{60}\text{Co}$ par transfert au moyen de dosimètres RPE à l'alanine **	2,8	$1,00 \cdot 10^{+1} \text{ Gy.h}^{-1}$	$1,00 \cdot 10^{+6} \text{ Gy.h}^{-1}$
Débit de kerma dans l'air ET de dose absorbée dans l'eau	Etalonnage de faisceaux de photons non collimatés du $^{137}\text{Cs}$ ou du $^{60}\text{Co}$ par transfert au moyen de dosimètres RPE à l'alanine**	3,4	$1,00 \cdot 10^{+1} \text{ Gy.h}^{-1}$	$1,00 \cdot 10^{+6} \text{ Gy.h}^{-1}$

\* les valeurs de débit sont indicatives, elles peuvent varier en fonction de la décroissance radioactive de sources ou de leur remplacement.

\*\* prestation donnant lieu à un procès verbal et non à un certificat d'étalonnage.

Caractéristiques des champs de rayonnements utilisés pour les étalonnages d'instruments,  
grandeurs d'étalonnage associées et incertitudes minimales associées aux résultats.

Grandeur de Référence	Nature de la prestation	Incertitude minimale % (k =2)	Débit * minimal	Débit * maximal
Débit de kerma dans l'air	Etalonnage de dosimètre externe pour la <u>radiothérapie</u> dans un faisceau étalonné de photons du <sup>60</sup> Co	1,2	1,00 10 <sup>+1</sup> Gy.h <sup>-1</sup>	1,80 10 <sup>+2</sup> Gy.h <sup>-1</sup>
Débit de kerma dans l'air	Etalonnage de dosimètre de référence pour la <u>radioprotection</u> dans un faisceau étalonné de photons du <sup>60</sup> Co ou du <sup>137</sup> Cs	0,9	1,00 10 <sup>-5</sup> Gy.h <sup>-1</sup>	1,00 Gy.h <sup>-1</sup>
Débit de kerma dans l'air	Etalonnage de dosimètre de référence pour la mammographie	2,2	Faisceaux « Impulsionnels »	
Débit de kerma dans l'air	Etalonnage de dosimètre de référence pour le radiodiagnostic conventionnel	1,5		
Débit de kerma de référence dans l'air à un mètre	Etalonnage de dosimètre (chambre à puit) pour la <u>curiethérapie</u> au moyen de sources d'iridium 192	1,3	1,00 10 <sup>-3</sup> Gy/h à 1 m	5,00 10 <sup>-2</sup> Gy/h à 1 m
kerma dans l'air	Etalonnage de dosimètre passif dans un faisceau de photons collimaté	1,0	1,00 10 <sup>-5</sup> Gy **	1,00 10 <sup>+4</sup> Gy **
Dose absorbée dans l'eau	Etalonnage de dosimètre passif pour la <u>radiothérapie</u> dans un faisceau de photons collimaté du <sup>60</sup> Co	1,0	1,00 Gy **	1,00 10 <sup>+4</sup> Gy **
Dose absorbée dans l'eau	Etalonnage de dosimètre passif pour l' <u>irradiation industrielle</u> dans un faisceau de photons collimaté de <sup>60</sup> Co	1,0	1,00 Gy **	1,00 10 <sup>+4</sup> Gy **
Dose absorbée dans l'eau	Etalonnage de dosimètre passif pour l' <u>irradiation industrielle</u> dans un irradiateur clôt de <sup>60</sup> Co	2,9	1,00 10 <sup>+3</sup> Gy **	1,00 10 <sup>+6</sup> Gy **
Débit de dose absorbée dans l'eau	Etalonnage d'une chambre d'ionisation secondaire placée à l'intérieur d'un fantôme d'eau placé dans un faisceau étalonné de photons du <sup>60</sup> Co	0,8	1,00 10 <sup>+1</sup> Gy.h <sup>-1</sup>	5,00 10 <sup>+1</sup> Gy.h <sup>-1</sup>
Débit de dose absorbée dans l'eau	Etalonnage de dosimètre pour la <u>radiothérapie</u> à l'intérieur d'un fantôme d'eau placé dans un faisceau étalonné de photons du <sup>60</sup> Co	1,3	1,00 10 <sup>+1</sup> Gy.h <sup>-1</sup>	1,80 10 <sup>+2</sup> Gy.h <sup>-1</sup>
Débit de dose absorbée dans l'eau	Etalonnage de dosimètre pour la <u>radiothérapie</u> à l'intérieur d'un fantôme d'eau placé dans un faisceau étalonné de photons X de haute énergie (6 à 25 MV) produit par un accélérateur linéaire.	2,2	5,00 10 <sup>+1</sup> Gy.h <sup>-1</sup>	2,00 10 <sup>+2</sup> Gy.h <sup>-1</sup>
Dose absorbée dans l'eau	Etalonnage de dosimètre passif dans un faisceau de photons X de haute énergie (6 à 25 MV) produit par un accélérateur linéaire.	2,2	5,00 10 <sup>+1</sup> Gy.h <sup>-1</sup>	2,00 10 <sup>+2</sup> Gy.h <sup>-1</sup>
Débit de dose absorbée dans l'eau	Etalonnage de dosimètre pour la <u>radiothérapie</u> à l'intérieur d'un fantôme d'eau placé dans un faisceau étalonné d'électrons de haute énergie (9 à 20 MV) produit par un accélérateur linéaire.	2,7	5,00 10 <sup>+1</sup> Gy.h <sup>-1</sup>	2,00 10 <sup>+2</sup> Gy.h <sup>-1</sup>
Débit de dose absorbée dans l'eau	Etalonnage de dosimètre passif dans un faisceau étalonné d'électrons de haute énergie (9 à 20 MV) produit par un accélérateur linéaire.	3,0	5,00 10 <sup>+1</sup> Gy.h <sup>-1</sup>	2,00 10 <sup>+2</sup> Gy.h <sup>-1</sup>
Débit de dose absorbée dans le tissu	Etalonnage de dosimètre de référence pour la <u>radioprotection</u> dans un faisceau étalonné de particules Bêta du <sup>147</sup> Pm et <sup>90</sup> Sr (ISO 6980) et <sup>85</sup> Kr ***	3,5	9,00 10 <sup>-3</sup> Gy.h <sup>-1</sup>	1,60 10 <sup>-1</sup> Gy.h <sup>-1</sup>
Débit d'équivalent de dose directionnel	Etalonnage de dosimètre de référence pour la <u>radioprotection</u> dans un faisceau étalonné de particules Bêta du <sup>147</sup> Pm et <sup>90</sup> Sr (ISO 6980) et <sup>85</sup> Kr	3,5	9,00 10 <sup>-3</sup> Sv.h <sup>-1</sup>	1,60 10 <sup>-1</sup> Sv.h <sup>-1</sup>
Débit d'équivalent de dose ambiant	Etalonnage de dosimètre de référence pour la <u>radioprotection</u> dans un faisceau étalonné de photons du <sup>60</sup> Co ou du <sup>137</sup> Cs	4,5	1,00 10 <sup>-5</sup> Sv.h <sup>-1</sup>	1,00 Sv.h <sup>-1</sup>

\* Les valeurs de débit sont indicatives, elles peuvent varier en fonction de la décroissance radioactive de sources ou de leur remplacement.

\*\* Valeurs intégrées de dose dans l'eau ou de kerma dans l'air données à titre indicatif car elles correspondent à des valeurs rencontrées habituellement.

\*\*\* prestation donnant lieu à un procès verbal et non à un certificat d'étalonnage.