

Contribution au développement d'un dosimètre de transfert pour les fortes doses, caractérisé au moyen d'un étalon secondaire

M. MEGHZIFENE, M. ARIB, M. MOUSSOUS*

(Manuscrit reçu le 29 mai 1995, révisé le 19 septembre 1995, accepté le 4 décembre 1995)

RÉSUMÉ Les paramètres métrologiques d'un dosimètre au sulfate ferreux sont normalement déterminés à l'aide de références dosimétriques primaires. Nous avons entrepris l'évaluation de ces paramètres au moyen d'un étalon secondaire et du protocole de détermination de dose de l'IAEA. Ainsi, nous avons déterminé expérimentalement la longueur d'onde d'absorption de l'ion ferrique (304 nm), le coefficient d'extinction molaire de l'ion ferrique ϵ ($218,7 \pm 0,9$) mol⁻¹ m² et le rendement radiochimique G ($1,627 \pm 0,04$) 10⁻⁶ mol J⁻¹. Les valeurs de ϵ et de G s'écartent respectivement de 0,4 % et 0,6 % de celles recommandées par l'ICRU. La comparaison des doses absorbées dans l'eau obtenues à l'aide du dosimètre chimique développé et de la chambre d'ionisation a permis de déterminer le seuil de sensibilité du dosimètre de Fricke, qui se situerait à 20 Gy. Au-delà de ce seuil, le dosimètre développé au laboratoire d'étalonnage secondaire permet de déterminer la dose dans l'eau avec une incertitude globale de $\pm 1,2$ %. Pour les pays qui ne disposent pas de références dosimétriques primaires, il est possible d'assurer le contrôle de doses utilisées en radiostérilisation à l'aide de ce type de dosimètre préparé et caractérisé dans un laboratoire d'étalonnage secondaire.

ABSTRACT The metrological parameters of a ferrous sulphate dosimeter are normally determined by comparison with primary standards. We have undertaken to evaluate these parameters using a secondary standard and the IAEA formalism for absorbed dose determination. Thus, we have determined with measurements the wavelength of absorption of the ferric ion (304 nm), the molar extinction coefficient ϵ (218.7 ± 0.9) mol⁻¹ m² and the radiochemical yield G (1.627 ± 0.04) 10⁻⁶ mol J⁻¹. These values of ϵ and G are respectively within 0.4% and 0.6% of the reference values recommended by the ICRU. The comparison of absorbed dose values derived from the ferrous sulphate dosimeter and the ion chamber has allowed to determine the detection limit of the Fricke dosimeter, which is around 20 Gy. Beyond this limit, the dosimeter as developed at the SSDL allows the determination of absorbed dose in water with a global uncertainty of ± 1.2 %. For the countries who do not have primary standards, it is possible to undertake the control of doses used in radiation sterilisation using this type of dosimeter prepared and calibrated in a SSDL.

* Centre de Radioprotection et de Sécurité, 2 bd Frantz Fanon, BP 1017, Alger gare, Algérie.

Introduction

Il est admis que toute mesure de dose de rayonnements ionisants doit être comparée à un étalon de référence, créé et maintenu dans un laboratoire primaire. En général, le calorimètre, la chambre d'ionisation ou le dosimètre chimique de Fricke constituent des étalons de référence primaire (Blanc, 1990). L'indisponibilité de moyens liés à l'étalonnage dans plusieurs pays a conduit l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) à mettre en place un réseau de laboratoires d'étalonnage secondaire (Eisenlohr, 1978). Dans les gammes de dose généralement utilisées en radioprotection et en radiothérapie, le schéma classique existant permet la traçabilité de la mesure à travers un étalon secondaire. Cependant, pour les mesures des fortes doses (kGy) en radiostérilisation, il n'est pas possible d'avoir recours à ce système et il est, dans ce cas, nécessaire pour le laboratoire d'étalonnage secondaire de développer et de maintenir une référence dosimétrique pour les fortes doses. Le dosimètre de Fricke constitue, dans ce cas, la référence (Task Group, 1983 ; ICRU, 1984).

Les paramètres caractéristiques du dosimètre de Fricke ont fait l'objet d'une évaluation dont les travaux ont été publiés par divers auteurs (Nahum *et al.*, 1981 ; Ross *et al.*, 1989 ; Eggermont *et al.*, 1974). Toutefois, après étude bibliographique, il ressort que la valeur du rendement radiochimique a été déterminée par comparaison à des valeurs de doses mesurées à l'aide d'un calorimètre ou d'une chambre d'ionisation (Svensson, 1979 ; Cottens *et al.*, 1981). En outre, le coefficient d'extinction molaire a fait l'objet de plusieurs évaluations en se basant principalement sur deux techniques chimiques différentes (Eggermont *et al.*, 1977). Nous nous sommes proposés de développer et de caractériser un dosimètre de Fricke au laboratoire d'étalonnage secondaire du Centre de radioprotection et de sûreté (Alger) en utilisant une chambre cylindrique de type Farmer 2561 étalonnée en terme de kerma dans l'air pour les photons du cobalt-60, en association avec le formalisme du protocole AIEA (1987). Les résultats obtenus sont présentés et comparés à ceux obtenus dans les laboratoires primaires et publiés par l'ICRU.

Ainsi, il est démontré que la mise en oeuvre d'un étalon secondaire telle qu'une chambre d'ionisation et d'un protocole de dosimétrie peut servir de base pour la détermination des paramètres caractéristiques d'un dosimètre de Fricke avec des valeurs très voisines de celles obtenues à l'aide d'étalons primaires.

1. Moyens et méthodologie mis en œuvre

1.1 Moyens

1.1.1 Faisceau de photons du Cobalt-60

Les caractéristiques de l'unité de ^{60}Co utilisée sont les suivantes :

- appareil de type ELDORADO-78 (AECL),
- faisceau de photons de type gamma, émis par une source du radionucléide ^{60}Co placée dans une pièce thermorégulée,
- faisceau de type collimaté,
- source cylindrique de diamètre 2 cm et de hauteur 3 cm.
- Le profil du faisceau de photons, sur l'axe horizontal et l'axe vertical, présente une gamme d'homogénéité de 6 cm (la variation de la dose, mesurée à l'aide de la chambre d'ionisation, est négligeable dans un rayon de 3 cm autour de l'axe central, à une distance source-détecteur de 80 cm).

1.1.2 Fantôme d'eau

Les parois du fantôme d'eau, un cube de 30 cm d'arêtes, sont réalisées en plexiglas. Sur la face d'entrée du fantôme a été réalisée une fenêtre carrée de dimensions 10 cm x 10 cm et d'épaisseur 2 mm. Les caractéristiques dosimétriques du plexiglas étant voisines de celles de l'eau, la correction due à l'épaisseur de la fenêtre est négligeable.

1.1.3 Chambre d'ionisation et chaîne électronique associée

La chambre d'ionisation, utilisée dans le présent travail, est une chambre à paroi en graphite de type NE 2561 de volume $0,325\text{ cm}^3$, munie d'un capuchon en delrin pour assurer l'équilibre électronique. Cette chambre est associée à une chaîne électronique composée d'un électromètre type NE 2560, d'un volt-mètre digital type Keithley et d'un chronomètre de précision. La tension de polarisation appliquée est de -200 V . Le schéma du dispositif expérimental est illustré par la figure 1.

1.1.4 Dosimètre chimique et spectrophotomètre

Les conteneurs ou fioles en pyrex, renfermant la solution de Fricke sont de forme cylindrique. Les dimensions de la cavité interne de ces fioles permettent de contenir une quantité de solution de Fricke suffisante pour le rinçage et la lecture de la densité optique.

Les caractéristiques physiques des différentes fioles conçues dans le cadre du présent travail sont regroupées dans le tableau I.

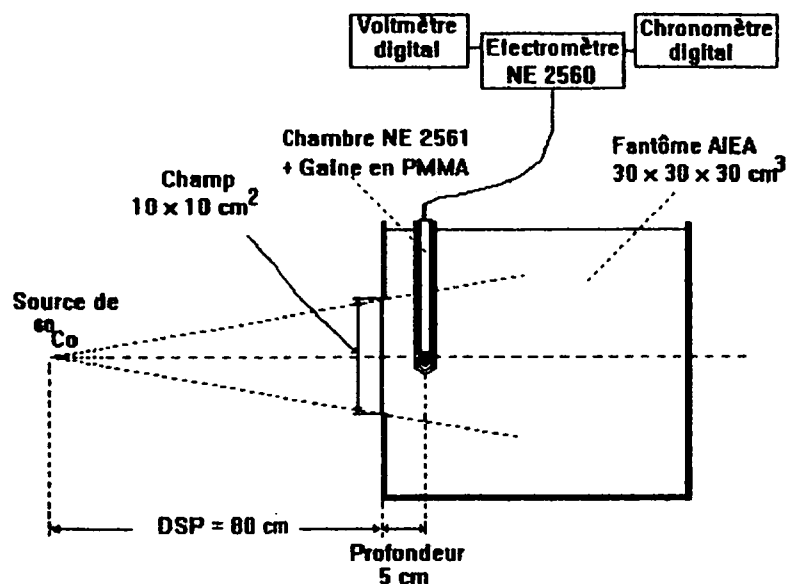


Fig. 1 – Dispositif expérimental utilisé pour les mesures ionométriques (fantômes d'eau)
Experimental device used for ionometric measurements (water phantom)

TABLEAU I

Caractéristiques des différents conteneurs conçus
pour l'irradiation de la solution de Fricke
Characteristics of the various vials used for the Fricke solution irradiation

	Type a	Type b	Type c
volume (ml)	5,3	5,7	6,6
épaisseur de la paroi (mm)	1	1,5	2
diamètre interne (mm)	13	11	13
longueur (mm)	40	60	50

La composition de la solution de Fricke, de masse volumique $1,024 \text{ g cm}^{-3}$, est la suivante : $10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$ de fer ferreux sous la forme de sel de Mohr ($\text{Fe}(\text{SO}_4)_2(\text{NH}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), $0,4 \text{ mol dm}^{-3}$ d'acide sulfurique ($\text{pH} = 0,46$), $10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$ de chlorure de sodium et $2,5 \times 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$ d'oxygène (solution aérée).

Le spectrophotomètre Beckman utilisé est du type DU-68 à lecture digitale. Les caractéristiques de la mesure spectrophotométrique sont :

- Ouverture de fente : $0,5 \text{ mm}$,
- Trajet optique de la solution : $(10 \pm 0,01) \text{ mm}$,
- Longueur d'onde de lecture : $(304 \pm 1) \text{ nm}$,

- Température de référence : 25 °C,
- Coefficient d'extinction molaire de Fe^{3+} : $(218,7 \pm 0,9) \text{ m}^2 \text{ mol}^{-1}$

Les valeurs de la longueur d'onde de lecture et du coefficient d'extinction molaire de l'ion Fe^{3+} ont été déterminées expérimentalement dans le cadre de ce travail (§ 2.1.).

1.2 Méthodologie

Dans le présent travail, nous nous sommes proposés :

- a) d'étalonner le spectrophotomètre ;
- b) de caractériser le dosimètre de Fricke à l'aide de la référence du kerma dans l'air déterminé au moyen de la chambre décrite en 1.1.3 ;
- c) de caractériser le dosimètre dans l'eau par la détermination du rendement radiochimique à une dose de référence de 30 Gy ;
- d) de déterminer les doses absorbées dans l'eau au moyen du dosimètre de Fricke, dans la gamme de 10 à 30 Gy et d'établir sa limite inférieure de sensibilité.

1.2.1 Ionométrie

La dose absorbée dans l'eau est exprimée par (AIEA, 1987) :

$$D_{\text{wi}}(P_{\text{eff}}) = N_{\text{K}} \cdot M_{\text{cor}} \cdot (1 - g) \cdot k_{\text{att}} \cdot k_{\text{m}} \cdot s_{\text{w,air}} \cdot P_{\text{u}} \cdot P_{\text{cel}} \quad (1)$$

- $D_{\text{wi}}(P_{\text{eff}})$ est la dose absorbée dans l'eau au point effectif de mesure, pris en amont du centre géométrique de la chambre. D'après le protocole de l'AIEA (1987), ce déplacement du point de mesure, qui tient compte de l'effet dû à l'étendue spatiale de la cavité d'air et de l'influence du caractère directionnel du rayonnement, est égal à $0,5 r$, où r est le rayon interne de la chambre ;

- N_{K} est le facteur d'étalonnage de la chambre donné en terme de kerma dans l'air ; cette chambre, avec l'électromètre, a été étalonnée au Laboratoire d'étalonnage de l'AIEA (Seibersdorf) ; le facteur d'étalonnage, $N_{\text{K}} = (12,87 \pm 0,12) \text{ Gy/sc. div } (1 \sigma)$;

- M_{cor} est l'indication de l'électromètre corrigée pour température, pression et recombinaison ; il n'a pas été tenu compte des corrections pour humidité et pour effet de polarité ;

- $k_{\text{m}} = 0,995$
- $k_{\text{att}} = 0,984$
- $s_{\text{w,air}} = 1,133$
- $P_{\text{u}} = 0,995$
- $P_{\text{cel}} = 1$

1.2.2 Dosimétrie chimique

La variation de la concentration des ions ferriques due à l'irradiation est obtenue par la relation (Fricke et Hart, 1966) :

$$\Delta[\text{Fe}^{3+}] = \frac{\Delta\text{DO}(\text{Fe}^{3+})}{\varepsilon(\text{Fe}^{3+}) \cdot l} \quad (2)$$

- $\Delta\text{DO}(\text{Fe}^{3+})$ représente la variation de la densité optique de l'ion ferrique due à l'irradiation de la solution ;

- $\varepsilon(\text{Fe}^{3+})$ est le coefficient d'extinction molaire de l'ion ferrique à la température de lecture t ; ce facteur, exprimé en $\text{m}^2 \text{mol}^{-1}$, est ramené à la température de référence t_0 de 25 °C en appliquant la correction suivante (Svensson et Brahme, 1979) :

$$\varepsilon(t_0) = \frac{\varepsilon(t)}{1 + 0,0069(t - 25 \text{ °C})} \quad 15 \text{ °C} < t < 35 \text{ °C} \quad (3)$$

- l le trajet optique dans la solution lors de la mesure spectrophotométrique, exprimé en m.

La dose absorbée dans l'eau D_{wF} au moyen du dosimètre de Fricke est exprimée par (Chang-Ming *et al.*, 1993 ; Burlin, 1966 ; Fricke et Hart, 1966) :

$$D_{\text{wF}} = \frac{\Delta\text{DO}(\text{Fe}^{3+})}{\varepsilon(\text{Fe}^{3+}) \cdot G(\text{Fe}^{3+}) \cdot l \cdot \rho} \cdot f \cdot P_{\text{wall}} \quad (\text{cGy}) \quad (4)$$

où : $G(\text{Fe}^{3+})$ est le rendement radiochimique de l'ion Fe^{3+} , à la température t durant l'irradiation, exprimé en mol J^{-1} . Ce facteur est ramené à la température de référence t_0 de 25 °C en appliquant la correction suivante (Mattsson *et al.*, 1982) :

$$G(t_0) = \frac{G(t)}{1 + 0,0012(t - 25 \text{ °C})} \quad (5)$$

ρ est la densité volumique de la solution ferreuse, exprimée en kg m^{-3} ; f est le facteur de conversion de la dose absorbée dans la solution de Fricke en dose absorbée dans l'eau (D_{wF}) ; dans le cas des faisceaux de photons de ^{60}Co , ce facteur est exprimé par le rapport des coefficients d'atténuation massiques en énergie de la solution ferreuse et de l'eau (Burlin, 1966) ; P_{wall} est le facteur de correction dû à l'effet de la paroi ;

Les autres termes ont la même signification que dans la relation (2).

Dans la relation (4), la dose absorbée dans l'eau a été obtenue en utilisant les valeurs des paramètres (ε et G) recommandées par l'ICRU dans son rapport 35 (ICRU, 1984).

2. Résultats expérimentaux

2.1 Etalonnage du spectrophotomètre

La longueur d'onde d'absorption maximale 304 nm est déterminée expérimentalement au laboratoire par l'enregistrement des spectres d'absorption des solutions Fe^{2+} et Fe^{3+} dans la gamme de longueurs d'onde 200-400 nm. Le spectre correspondant à la solution Fe^{3+} est illustré par la figure 2.

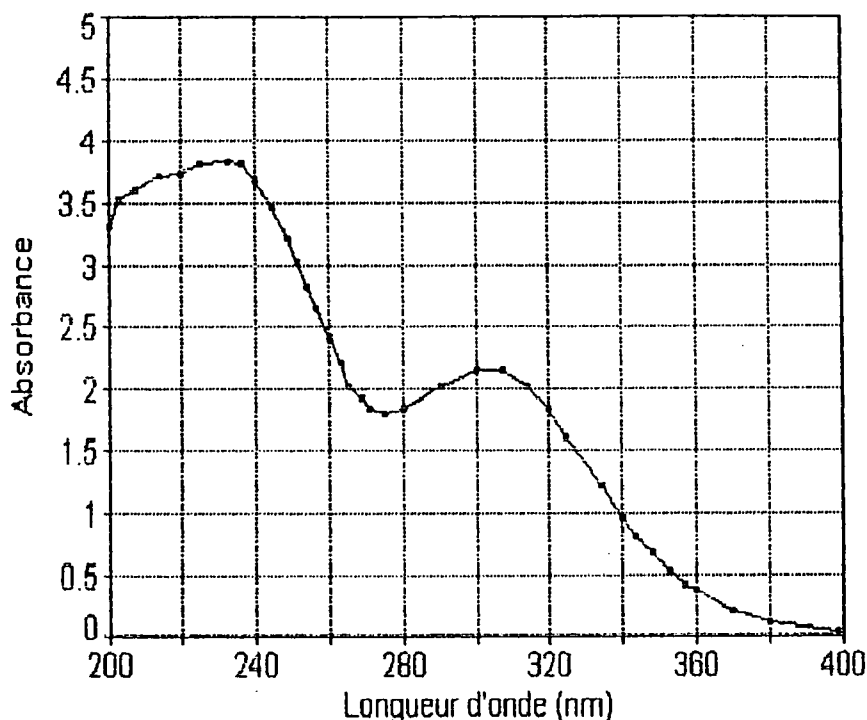


Fig. 2 - *Spectre d'absorption de l'ion Fe^{3+}*
Absorption spectrum of Fe^{3+} ion

La courbe d'étalonnage du spectrophotomètre, établie au laboratoire (Fig. 3), a été obtenue pour différentes concentrations comprises entre 10^{-4} et 10^{-3} M, déduites des dilutions à partir de la solution mère composée de 10^{-3} mol dm^{-3} de fer ferrique sous la forme de sel de Mohr ($\text{Fe}(\text{SO}_4)_2(\text{NH}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) et 0,4 mol dm^{-3} d'acide sulfurique. La densité optique, mesurée à la longueur d'onde 304 nm et à la température de 24,1 °C, est proportionnelle à la concentration de la solution. La pente de la droite représente le coefficient d'extinction molaire. En tenant compte de sa variation en fonction de la température, donnée par la relation (3), la valeur de ce coefficient est de $218,7 \pm 0,9^{(1)}$ mol $^{-1}$ m 2 .

(1) Incertitude relative globale de 0,39 % correspondant à 2 fois l'écart-type (2σ).

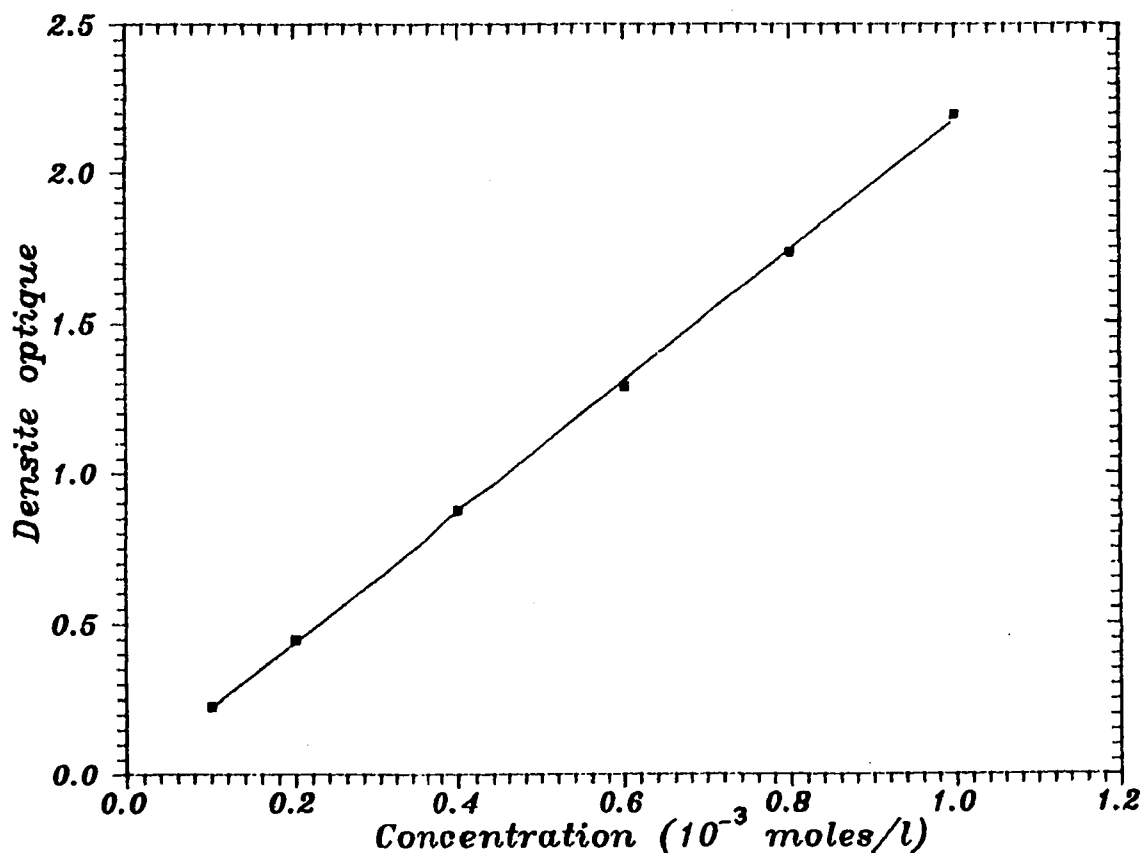


Fig. 3 – Courbe d'étalonnage du spectrophotomètre
Calibration curve of the spectrophotometer

2.2 Caractérisation du dosimètre de Fricke dans l'air

La valeur moyenne du débit de référence dans l'air, déterminé par mesures ionométriques dans les conditions de référence (distance source-détecteur 80 cm, champ 10 cm x 10 cm à la surface du fantôme) a pour valeur, au jour des expérimentations, $0,7637 \pm 0,04$ % cGy s⁻¹ (0,04 % représente l'incertitude relative aléatoire due à la reproductibilité des mesures dans l'intervalle de confiance 95 %).

Dans les mêmes conditions, nous avons irradié la fiole de type (a) à des doses allant de 3 à 10 Gy par pas unitaire. Durant l'irradiation dans l'air, la fiole est contenue dans une gaine en PMMA dont la paroi, de 2 mm d'épaisseur, assure l'équilibre électronique des électrons secondaires. La courbe (Fig. 3) représente la variation de la concentration des ions ferriques due à l'irradiation en fonction de la dose reçue par le dosimètre de Fricke (exprimée en Gy). La pente de cette droite représente le rendement radiochimique $G(\text{Fe}^{3+})$. Ramenée à la température de 25 °C en appliquant la correction donnée par la relation (5), la valeur de G est de $(1,646 \pm 0,009 (1)) 10^{-6}$ mol. J⁻¹.

(1) Incertitude relative aléatoire due à la reproductibilité des mesures (2σ).

L'influence du débit de dose sur la valeur du rendement radiochimique a été étudiée pour trois débits déterminés aux distances source-détecteur de 60 cm, 80 cm et 100 cm. Les valeurs de G obtenues sont respectivement de $1,620 \cdot 10^{-6} \text{ mol J}^{-1}$, $1,627 \cdot 10^{-6} \text{ mol J}^{-1}$ et $1,631 \cdot 10^{-6} \text{ mol J}^{-1}$.

2.3 Caractérisation du dosimètre de Fricke dans l'eau

2.3.1 Conditions d'irradiation

Pour cette expérimentation, nous nous sommes servis de la fiole de type a et de la chambre d'ionisation décrite au paragraphe 1.1.3. La chambre d'ionisation et le dosimètre de Fricke sont irradiés sur l'axe du faisceau dans le fantôme d'eau et dans les conditions de référence (profondeur de 5 g cm^{-2} , distance source-surface du fantôme de 80 cm et un champ de $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ à cette distance).

2.3.2 Détermination du débit de dose de référence par ionométrie

La valeur moyenne du débit de dose dans l'eau D_{wi} , calculée à l'aide de la relation (1) est, au jour des expérimentations, de $0,5680 \text{ cGy s}^{-1}$ avec une incertitude globale relative de 2,34 % (2σ). Cette incertitude globale a été estimée par combinaison quadratique des incertitudes élémentaires (systématiques et aléatoires) (Giacomo, 1981). Cette valeur de dose absorbée est en accord à $\pm 0,8 \%$ avec celle obtenue par une seconde méthode. Cette dernière fait appel à l'utilisation d'un facteur d'étalonnage exprimé directement en terme de dose absorbée dans l'eau et établi par le National physical laboratory (NPL, Grande-Bretagne). La procédure utilisée et les résultats obtenus par les auteurs ont été publiés (Meghizifene, 1994).

2.3.3 Courbe d'étalonnage du dosimètre de Fricke.

La courbe d'étalonnage du dosimètre de Fricke (Fig. 4), est établie en irradiant à des doses de référence de 10, 15, 20, 25 et 30 Gy.

2.3.4 Détermination du rendement radiochimique

La valeur du rendement radiochimique dans l'eau, déterminée à l'aide de la relation (4), pour une dose de référence de 30 Gy et ramenée à la température de $25 \text{ }^\circ\text{C}$ à l'aide de la relation (5), est de $1,627 \cdot 10^{-6} \pm 0,4 \text{ (1) mol J}^{-1}$.

Les valeurs des différents termes utilisés et leurs incertitudes sont présentées dans le tableau II.

(1) Incertitude globale de 2,5 % correspondant à 2σ .

TABLEAU II
 Détermination du rendement radiochimique $G(\text{Fe}^{3+})$
 Determination of the radiation yield $G(\text{Fe}^{3+})$

Terme	Valeur	Incertitudes aléatoires	Incertitudes systématiques (%)	Référence
ΔDO	0,103	0,8		**
D_{ref}	30	0,04	2,34	**
ρ_s	1,024		0,1	(Eggermont <i>et al.</i> , 1977)
f	1,0032		0,2	(ICRU, 1984)
ε	218,7		0,4	**
l	1		0,1	**
P_{wall}	1,0001		—	**
k_T (*)	0,96		0,013	**
$G(\text{Fe}^{3+})$	$1,627 \cdot 10^{-6}$	0,8	2,38	**

(*) Correction pour température du coefficient d'extinction molaire (relation (3)).

(**) Incertitudes estimées dans le cadre du présent travail.

2.5 Détermination de la dose absorbée dans l'eau au moyen du dosimètre de Fricke

La dose absorbée dans l'eau D_{wF} a été calculée à l'aide de la relation (4) en utilisant, d'une part, les valeurs des densités optiques obtenues à l'aide de la courbe d'étalonnage (Fig. 4), et d'autre part en moyennant le produit $(\text{Fe}^{3+}) \cdot G(\text{Fe}^{3+}) = 352 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ J}^{-1}$ recommandé par L'ICRU dans son rapport 35 et donné à la température de 25 °C (Chang-Ming *et al.*, 1993). Ce produit est ramené à la température des expérimentations en appliquant les corrections données par les relations (3) et (5). Les valeurs de f et de P_{wall} sont prises respectivement égales à 1,0032 et 1,0001 (Mattsson *et al.*, 1982). Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau III. L'incertitude globale sur les doses absorbées D_{wF} , estimée par combinaison quadratique des incertitudes élémentaires, s'élève à 2,88 % (2σ).

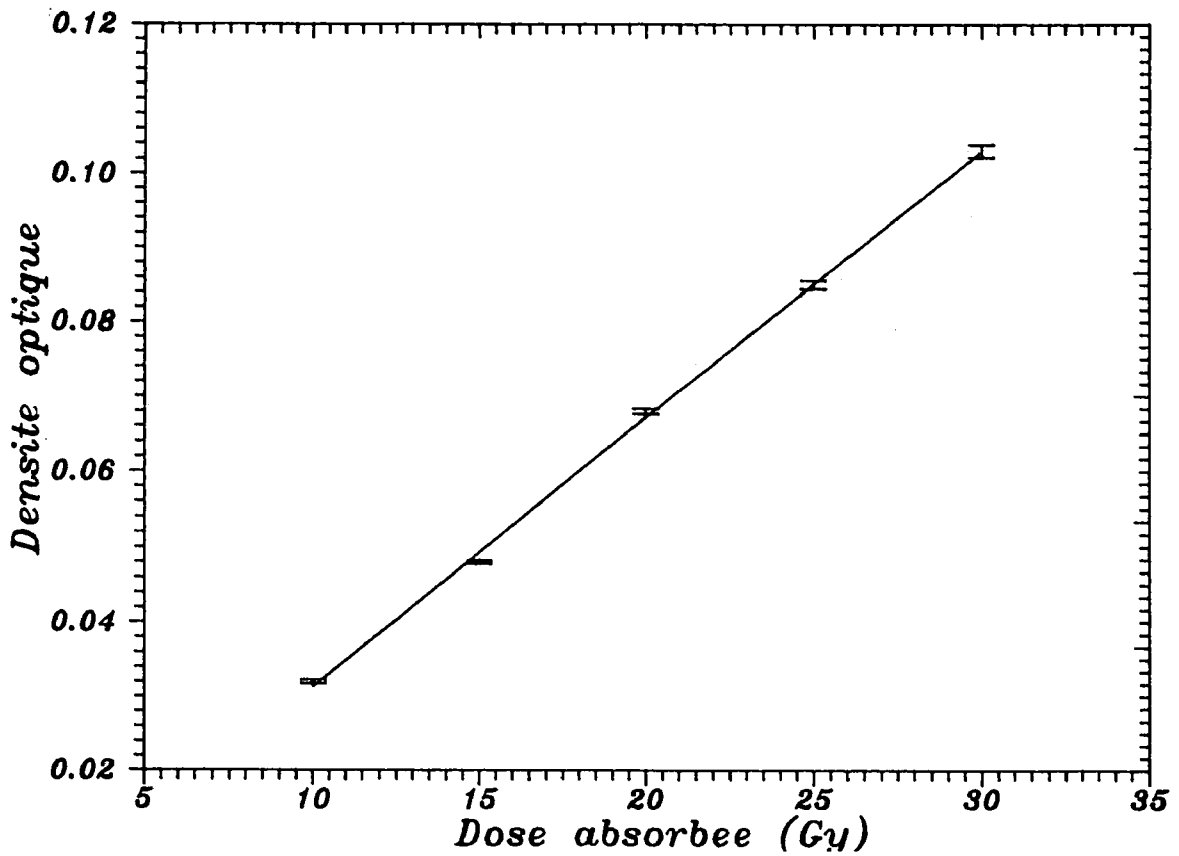


Fig. 4 – Courbe d'étalonnage du dosimètre de Fricke
Calibration curve of the Fricke dosimeter

TABLEAU III

Doses absorbées dans l'eau obtenues par le dosimètre de Fricke
Absorbed doses in water obtained with the Fricke dosimeter

D_{wi} (Gy)	D_{wF} (Gy)
10	9,30
15	14,24
20	19,76
25	24,70
30	29,93

3. Discussion

3.1 Etalonnage du spectrophotomètre

La longueur d'onde d'absorption maximale (304 nm) déterminée pour l'ion ferrique, concorde parfaitement avec celle publiée par Fricke (Miller, 1953). A cette longueur d'onde, la variation de l'absorbance en fonction de la concentration est parfaitement linéaire (Fig. 5), ce qui vérifie la loi de Lambert-Beer. La valeur du coefficient d'extinction molaire de l'ion ferrique, déterminée au moyen d'une solution chimique à base de sel de Mohr, $218,7 \text{ m}^2 \text{ mol}^{-1}$, s'écarte de 0,4 % de la valeur moyenne $219,6 \text{ m}^2 \text{ mol}^{-1}$ recommandée par l'ICRU dans son rapport N° 14 (ICRU, 1969) et déterminée par la même technique.

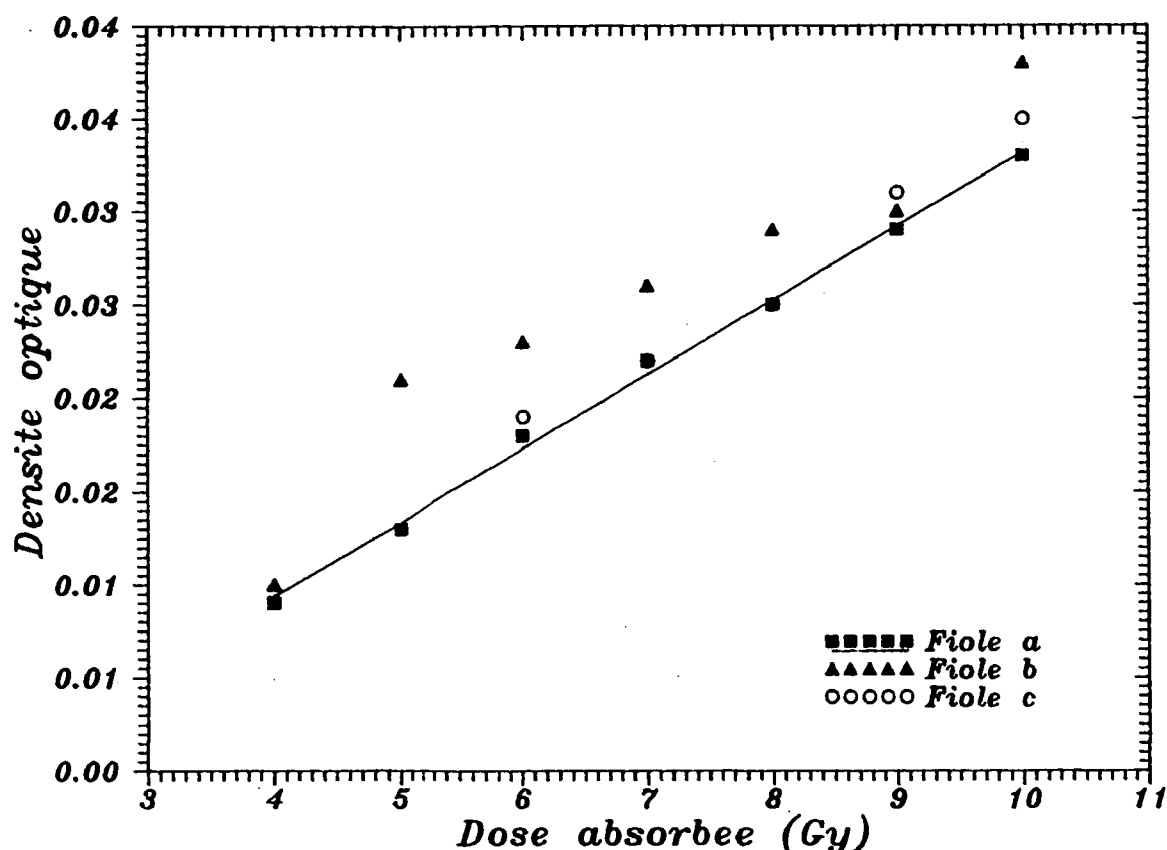


Fig. 5 - Réponse des différentes fioles en fonction de la dose (fioles irradiées dans l'air)
Response of the various vials vs dose (vials irradiated in air)

3.2 Caractérisation dans l'air

La valeur du rendement radiochimique est indépendante du débit de dose absorbée. Ceci concorde avec les résultats de Miller (Miller, 1953). Pour les trois fioles étudiées, la fiole de type a donne les meilleurs résultats concernant la linéarité de la réponse en fonction de la dose (Fig. 3). La valeur du rendement radiochimique dans l'air, pour cette fiole ($1,637 \cdot 10^{-6} \text{ mol J}^{-1}$) s'écarte de

0,5 % de la valeur moyenne G_i ($1,629 \cdot 10^{-6} \text{ mol J}^{-1}$) déterminée par la même technique (Fricke, 1966). L'écart par rapport à la valeur G_{ref} recommandée par l'ICRU dans son rapport N° 35 ($1,617 \cdot 10^{-6} \text{ mol J}^{-1}$) est de 1,3 %. Les valeurs du rendement radiochimique pour les fioles de type b ($1,674 \cdot 10^{-6} \text{ mol J}^{-1}$) et c ($1,679 \cdot 10^{-6} \text{ mol J}^{-1}$) s'écartent respectivement de 2,7 % et de 3 % de la valeur G_i .

3.3 Caractérisation dans l'eau

La valeur du rendement radiochimique obtenue à l'aide de la fiole de type a ($1,627 \cdot 10^{-6} \text{ mol J}^{-1}$) s'écarte de celle obtenue dans l'air ($1,637 \cdot 10^{-6} \text{ mol J}^{-1}$) de 0,6 %. Les écarts par rapport aux valeurs de G_i et G_{ref} sont respectivement de 0,13 % et 0,6 %.

3.4 Comparaison des doses absorbées obtenues par méthodes ionométrique et chimique

Les doses absorbées obtenues par méthode chimique (Tab. III) s'écartent respectivement des doses absorbées de référence de 7 %, 5,3 %, 1,2 %, 1,2 % et 0,2 %. La limite inférieure de sensibilité du dosimètre de Fricke, engendrée par la présence d'impuretés dans la solution, se situerait à 20 Gy. Pour les doses de 10 Gy et 15 Gy, les valeurs du rendement radiochimique obtenues s'écartent respectivement de la valeur de référence G_{ref} de 6 % et 4 %.

Conclusion

D'après les résultats expérimentaux obtenus, il ressort que les caractéristiques métrologiques du dosimètre de Fricke préparé et étalonné dans un laboratoire d'étalonnage secondaire, sont très proches de celles recommandées par l'ICRU dans son rapport N° 35. Ainsi, les valeurs obtenues du coefficient d'extinction molaire et du rendement radiochimique nous ont permis, pour des doses supérieures ou égales à 20 Gy, d'effectuer des mesures de doses absorbées avec une incertitude globale de $\pm 2,9$ %. L'écart par rapport à la dose mesurée par ionométrie est de $\pm 1,2$ %. Par conséquent, le dosimètre peut être utilisé pour le contrôle des doses délivrées lors de l'ionisation des denrées alimentaires et de la stérilisation des produits médicaux.

RÉFÉRENCES

- Blanc D. (1990) "Les rayonnements ionisants, détection, spectrométrie, dosimétrie." Masson : Paris.
- Burlin T.E (1966) "Cavity chamber theory", In: Radiation dosimetry (Attix F.H., Roesch W.C., Eds) Academic Press New York ; vol. 1, chap. 8.
- Buysse J., Eggermont G., Jansens A., Thielens G., Jacobs R. (1977) Discrepancies in molar extinction coefficients of Fe³⁺ in Fricke dosimetry. In: *National and international standardization of radiation dosimetry, Atlanta 5-9 December 1977*. Vienne : AIEA, pp. 317-334.
- Chang-Ming Ma, Rogers D.W.O., Shortt K.R., Ross C.K., Nahum A.E., Bialajew A.F. (1993) Wall-correction and absorbed-dose conversion factors for Fricke dosimetry : Monte carlo calculations and measurements. *Med. Phys.* **20** (2) 283-292.
- Cottens E., Janssens A., Eggermont G., Jacobs R. (1981) Absorbed dose calorimetry with a graphite calorimeter, and G-value determinations for the Fricke dose meter in high-energy electron beams. In: *Biomedical dosimetry : physical aspects, instrumentation, calibration, Paris, 27-31 October 1980*. Vienne : AIEA, 1981, pp. 189-211.
- Eisenlohr H.H. (1978) The IAEA/WHO Network of Secondary Standard Dosimetry Laboratories and its function within the metrology system. *Int. J. Appl. Radiat. Isot.* **29**, 707-711.
- Fricke H., Hart E.J. (1966) "Chemical dosimetry", In: *Radiation dosimetry* (Attix F.H., Roesch W.C., Eds) Academic Press: New York, vol. 2, chap. 12.
- Giacomo P. (1981) News from the BIPM, meeting of experts on the subject of uncertainties. *Metrologia*, **17** (2) 69.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) (1987) Absorbed dose determination in photon and electron beams: an international code of practice. (Techn. Rep. Ser. No. 277), Vienne : AIEA.
- International Commission on Radiation Units and measurements (ICRU) (1984) Radiation dosimetry: electron beams with energies between 1 and 50 MeV. (ICRU report 35), (Bethesda : ICRU).
- International Commission on Radiation Units and measurements (ICRU) (1969) Radiation dosimetry: X-rays and gamma-rays with maximum photon energies between 0.6 and 50 MeV. (ICRU report 14), Washington, DC : ICRU.
- Mattsson L.O., Johansson K.A., Svensson H. (1982) Ferrous sulphate dosimeter for control of ionization chamber dosimetry of electron and ⁶⁰Co gamma beams. *Acta Radiol. Oncol.* **21**, 139-144.
- Meghzifene A., ARIB M., Guidoum R. (1994) Absorbed dose calibration for high energy X-rays : a new service for secondary standard dosimetry laboratories. In: *Measurement assurance in dosimetry, Vienna, 24-27 May 1993*. Vienne : AIEA, pp. 581-587.
- Miller N. (1953) Chemical dosimetry at high dose rate. *Nature* **171**, 688.
- Nahum A.E., Svensson H., Brahme A. (1981) The ferrous sulfate G-values for electron and photon beams : a semi-empirical analysis and its experimental support. In: *Proceedings of the 7th symposium on microdosimetry, 1980*. Londres : Harwood, pp. 841-851.
- Ross C.K., Klassen N.V., Shortt K.R., Smith G.D. (1989) A direct comparison of water calorimetry and Fricke dosimetry. *Phys. Med. Biol.* **34** (1) 23-42.
- Scharf K., Lee R.M. (1962) Investigation of the spectrophotometric method of measuring the ferric ion yield in the ferrous sulfate dosimeter. *Radiat. Res.* **16**, 115-124.
- Svensson H., Brahme A. (1979) Ferrous sulphate dosimetry for electrons. *Acta Radiol. Ther. Phys. Biol.* **18**, 326-336.
- Task Group 21 (1983) Radiation Therapy Committee, American Association of Physicist in Medicine. A protocol for the determination of absorbed dose from high-energy photon and electron beams *Med. Phys.* **10**, 741-772.