



Guide pour le contrôle de la qualité des  
chambres à ionisation utilisées cliniquement  
pour la radiothérapie au Québec :  
recommandations par le sous-comité pour  
l'assurance de la qualité de l'AQPMC.

Document réalisé à partir des références établies  
par le Partenariat canadien pour la qualité en  
radiothérapie (PCQR).

Avril 2025

# Membres du sous-comité pour l'assurance de la qualité de l'AQPMC

## **Rédaction du présent document :**

- Magali Besnier, conseillère assurance qualité et radioprotection de l'AQPMC, CHU de Québec-Université Laval
- Dany Simard, CISSS de Chaudière-Appalaches
- Jean-François Gauthier, CISSS du Bas-St-Laurent
- Julie Métivier, CISSS du Bas-St-Laurent
- Laurent Tantôt, CIUSSS de l'Est-de-l'Île-de-Montréal, Hôpital Maisonneuve-Rosemont

## **Membres consultants pour le présent document :**

- Daniel Ahumada, CISSS de la Montérégie-Centre, Hôpital Charles-Le Moyne
- Georges Al Makdessi, CISSS de l'Abitibi-Témiscamingue
- Krum Asiev, CIUSSS du Centre-Ouest-de-l'Île-de-Montréal, Hôpital général juif
- Marie-Joëlle Bertrand, CIUSSS du Saguenay Lac-Saint-Jean
- Nicolas Charest, CIUSSS de la Mauricie-et-du-Centre-du-Québec
- Nasser Djennaoui, Centre Hospitalier Universitaire de Montréal
- Normand Frenière, CIUSSS de la Mauricie-et-du-Centre-du-Québec
- Mathieu Guillot, CIUSSS de l'Estrie - CHUS, Hôpital Fleurimont
- Geneviève Jarry, CIUSSS de l'Est-de-l'Île-de-Montréal, Hôpital Maisonneuve-Rosemont
- Angelika Kroshko, CISSS du Bas-St-Laurent
- Mathieu Lemire, CIUSSS de l'Est-de-l'Île-de-Montréal, Hôpital Maisonneuve-Rosemont
- Jean-François Montégiani, CISSS de l'Outaouais
- Piotr Pater, Centre universitaire de santé McGill
- Pier-Yves Trépanier, CISSS de Laval, Hôpital de la Cité-de-la-Santé
- Janelle Morrier, conseillère sortante assurance qualité et radioprotection de l'AQPMC, CHU de Québec-Université Laval
- Christophe Furstoss, président de l'AQPMC, CIUSSS de l'Est-de-l'Île-de-Montréal, Hôpital Maisonneuve-Rosemont

## Table des matières

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION</b> .....	4
<b>2</b>	<b>CHAMBRES À IONISATION</b> .....	5
2.1	Fréquence des contrôles .....	5
2.1.1	Chambre étalon secondaire calibrée en laboratoire.....	5
2.1.2	Chambre étalon clinique contre-étalonnée .....	6
2.1.3	Chambre clinique pour dosimétrie relative.....	7
2.2	Description des méthodes et seuils.....	8
2.2.1	Vérification de l'intégrité physique .....	8
2.2.2	Répétabilité du signal .....	8
2.2.3	Linéarité en dose .....	8
2.2.4	Mesure quantitative du courant de fuite résiduel .....	9
2.2.5	Appréciation qualitative du courant de fuite de la chaîne d'acquisition .....	10
2.2.6	Dépendance angulaire.....	10
2.2.7	Effet de tige ou courant hors volume sensible.....	11
2.2.8	Caractérisation des effets de tige en balayage de faisceau .....	11
2.2.9	Caractérisation des effets de recombinaison et de polarité .....	12
2.2.10	Caractérisation du taux de recombinaisons en fonction de la dose par impulsion ....	13
2.2.11	Caractérisation des effets de polarité en déséquilibre électronique .....	15
<b>3</b>	<b>ÉLECTROMÈTRES</b> .....	17
3.1	Fréquence des contrôles .....	17
3.1.1	À l'acquisition ou après un bris ou une réparation, puis aux deux ans :.....	17
3.1.2	À l'utilisation : .....	17
3.2	Description des méthodes et seuils.....	18
3.2.1	Vérification du courant de fuite intrinsèque.....	18
3.2.2	Vérification de la tension réelle appliquée.....	18
3.2.3	Caractérisation du paramètre $P_{elec}$ .....	18
3.2.4	Vérification du mode à déclenchement automatique .....	18
3.2.5	Vérification de l'affichage de la tension demandée .....	19
<b>4</b>	<b>RÉFÉRENCES</b> .....	20

## 1 INTRODUCTION

Le sous-comité pour l'assurance de la qualité de l'Association québécoise des physiciens médicaux cliniques (AQPMC) compte au moins un représentant de chacun des quatorze centres de radiothérapie de la province. Son principal mandat consiste à soutenir le conseil d'administration dans les dossiers concernant l'assurance de la qualité, notamment en facilitant le développement d'outils d'assurance qualité pour la communauté de l'AQPMC et en favorisant les échanges entre les membres de l'AQPMC sur les sujets touchant l'assurance qualité.

Depuis 2021, le sous-comité s'est donné comme objectif la révision des documents techniques sur le contrôle de la qualité du Partenariat canadien pour la qualité en radiothérapie (PCQR) ainsi que l'analyse de la conformité des centres québécois aux recommandations qu'ils contiennent. La révision par le comité [2] du document du PCQR portant sur les contrôles de qualité de l'équipement principal de dosimétrie [1] a mis en évidence un manque de conformité des centres québécois par rapport aux recommandations du PCQR, lié en partie à l'évolution des équipements et des pratiques ainsi qu'à un besoin de clarification de certains points abordés par le PCQR. Ces observations ont donné lieu à la rédaction du présent guide, dans lequel le sous-comité a voulu mettre à jour et préciser certaines notions du document du PCQR portant sur les contrôles de qualité de chambres à ionisation, en adéquation avec les pratiques cliniques actuelles.

La première partie de ce guide porte donc sur les chambres à ionisation. Elle précise les fréquences des différents contrôles à réaliser et suggère des méthodes pour leur réalisation, en reliant les seuils de tolérance et d'action listés dans le document du PCQR à des paramètres spécifiques d'analyse. La deuxième partie du guide traite de la même manière des contrôles de qualité des électromètres, équipements inhérents à la mesure de charges collectées par une chambre à ionisation.

Les recommandations de ce présent guide ont été établies en fonction des connaissances et pratiques cliniques actuelles des physiciens médicaux au Québec. L'application de ces recommandations favorisera une uniformisation des pratiques reliées aux contrôles de qualité des chambres à ionisation à travers la province.

## 2 CHAMBRES À IONISATION

### 2.1 Fréquence des contrôles

#### 2.1.1 Chambre étalon secondaire calibrée en laboratoire

La chambre étalon secondaire (ou étalon de référence) est étalonnée aux deux ans par un laboratoire accrédité et permet de contre-étalonner les autres chambres cliniques qui servent à l'étalonnage en dose des appareils de traitement. À moins de posséder une redondance de l'équipement, la chambre étalon secondaire ne devrait pas être utilisée en clinique de façon courante. Des contrôles de qualité de cette chambre devraient avoir lieu avant et après l'envoi en laboratoire pour vérifier l'intégrité du détecteur après l'étalonnage et le transport.

##### 2.1.1.1 À l'acquisition ou après un bris ou une réparation :

- ⇒ Vérification de l'intégrité physique.
- ⇒ Dépendance angulaire.
- ⇒ Contrôles biennaux des chambres étalons cliniques contre-étalonnées (voir section 2.1.2).

##### 2.1.1.2 Aux deux ans :

- ⇒ Étalonnage du détecteur en laboratoire (Coefficient d'étalonnage  $N_{D,w}^{Co}$ ).
- ⇒ Contrôle qualité avant et après l'envoi pour vérifier l'intégrité du détecteur :
  - Avant envoi et au retour, suivi de la variation du coefficient d'étalonnage relatif à une autre chambre ou avec une source scellée.
  - Au retour, contrôles biennaux des chambres étalons cliniques contre-étalonnées (voir section 2.1.2).

##### 2.1.1.3 À l'utilisation :

- ⇒ Répétabilité du signal.
- ⇒ Appréciation qualitative du courant de fuite de la chaîne d'acquisition.

## 2.1.2 Chambre étalon clinique contre-étalonnée

Les chambres cliniques pour l'étalonnage des appareils de traitement sont utilisées couramment en clinique et doivent être étalonnées annuellement avec une chambre secondaire calibrée en laboratoire. Si les chambres sont aussi utilisées pour de la dosimétrie relative en lien avec des mesures de plans de patient ou des mesures en cuve, il convient de compléter les tests ci-dessous par ceux listés dans la section 2.1.3.

### 2.1.2.1 À l'acquisition ou après un bris ou une réparation :

- ⇒ Vérification de l'intégrité physique.
- ⇒ Dépendance angulaire.
- ⇒ Contrôles annuels et biennaux.

### 2.1.2.2 Aux deux ans :

- ⇒ Caractérisation des effets de recombinaison et de polarité
- ⇒ Mesure quantitative du courant de fuite résiduel.
- ⇒ Caractérisation de l'effet de tige ou courant hors volume sensible.
- ⇒ Vérification de la linéarité en dose.

### 2.1.2.3 Annuellement :

- ⇒ Étalonnage avec la chambre secondaire calibrée en laboratoire.
  - Suivi de la variation du coefficient d'étalonnage.

### 2.1.2.4 À l'utilisation :

- ⇒ Répétabilité du signal.
- ⇒ Appréciation qualitative du courant de fuite de la chaîne d'acquisition.

### 2.1.3 Chambre clinique pour dosimétrie relative

Les chambres pour la dosimétrie relative sont principalement utilisées dans deux situations :

- Vérification de plan de traitement : mesure de dose avec un détecteur statique positionné dans un fantôme, étalonné dans un champ de référence avant la mesure
- Caractérisation de faisceau : balayage de faisceau avec détecteur mobile dans une cuve d'eau.

Ces détecteurs ne nécessitent pas de caractérisation liée à la mesure de dose absolue (coefficients d'étalonnage en dose, facteurs  $P_{ion}$  ou  $P_{poi}$ ). Cependant leur comportement lié à la variation du débit de dose par impulsion ainsi que les éventuels effets de polarité et effets de tige peuvent influencer les résultats des mesures et doivent donc être vérifiés régulièrement. Si les chambres sont aussi utilisées pour de la dosimétrie absolue, il convient de compléter les tests ci-dessous par ceux listés dans la section 2.1.2.

#### 2.1.3.1 À l'acquisition ou après un bris ou une réparation :

- ⇒ Vérification de l'intégrité physique.
- ⇒ Dépendance angulaire.
- ⇒ Caractérisation de l'effet de tige ou courant hors volume sensible.
- ⇒ Caractérisation du taux de recombinaisons en fonction de la dose par impulsion.
- ⇒ Vérification de la linéarité en dose.
- ⇒ Contrôles biennaux.
- ⇒ Pour des mesures en déséquilibre électroniques, caractérisation des effets de polarité en déséquilibre électronique.
- ⇒ Pour les mesures en balayage, caractérisation des effets de tige en balayage de faisceau.
  - Minimale pour 1 chambre par modèle de chambre.

#### 2.1.3.2 Aux deux ans :

- ⇒ Mesure quantitative du courant de fuite résiduel.

#### 2.1.3.3 À l'utilisation :

- ⇒ Répétabilité du signal.
- ⇒ Appréciation qualitative du courant de fuite de la chaîne d'acquisition.

## 2.2 Description des méthodes et seuils

Les méthodes décrites dans cette section constituent des propositions pour la réalisation des différents contrôles de qualité listés dans la section 2.1. Les seuils de tolérance et d'intervention indiqués proviennent des recommandations du PCQR [1], toutefois les pratiques actuelles montrent une tendance à appliquer des seuils plus sévères reliés aux attentes cliniques et aux performances réelles des équipements récents.

### 2.2.1 Vérification de l'intégrité physique

Au-delà de l'inspection visuelle du détecteur, une radiographie kV 3D du volume sensible permet de s'assurer de l'intégrité physique complète du détecteur : pour un détecteur cylindrique, 2 images kV à 90° l'une de l'autre ou bien un CT 3D permet de vérifier l'alignement de l'électrode centrale. Pour un détecteur à plaques parallèles, un CT 3D permet de vérifier le parallélisme des plaques.

### 2.2.2 Répétabilité du signal

La répétabilité peut être caractérisée par l'écart-type évalué sur un minimum de 5 mesures répétées pour des configurations identiques.

Seuils selon [1] pour une chambre utilisée pour l'étalonnage en dose des appareils (type « Farmer » ou grand volume) :

Paramètre à évaluer	Tolérance	Intervention
Écart-type	0,2 %	0,5 %

Seuils selon [1] pour une chambre de volume inférieur à celui d'une chambre de type « Farmer », utilisée pour des mesures relatives :

Paramètre à évaluer	Tolérance	Intervention
Écart-type	0,5 %	1,0 %

### 2.2.3 Linéarité en dose

La linéarité s'évalue en traçant la charge mesurée en fonction du nombre d'unités moniteur (UM) délivrés dans des conditions de référence. La vérification doit être faite sur une plage minimale de 0,5 Gy à 12 Gy en conditions de référence (ou valeur clinique maximum par faisceau ou arc). Un minimum de 4 points de mesure  $y_i$  est recommandé. Une courbe de tendance linéaire appliquée sur les données fournit une équation affine  $\hat{y} = a \cdot \text{UM} + b$ .

Pour chaque point de mesure  $y_i$ , calculer la déviation de dose  $d_i$  par rapport à l'estimation de la régression  $\hat{y}_i$  au point  $i$  :  $d_i = (y_i - \hat{y}_i) / \hat{y}_i$ .

La chambre peut être considérée comme linéaire dans la région de dose considérée si :

$$\text{Max}(d_i) < \text{seuil.}$$

Seuils selon [1] :

Paramètre à évaluer	Tolérance	Intervention
Déviations de dose maximum $\text{Max}(d_i)$	0,5 %	1,0 %

Considérations par rapport à la mesure :

- Il est raisonnable de considérer que l'appareil de traitement délivre les UM avec une linéarité adéquate, vérifiée par ailleurs dans le cadre de l'assurance qualité des appareils de traitement. Advenant qu'une déviation de la linéarité soit observée lors d'un contrôle qualité d'une chambre à ionisation donnée, il est possible de vérifier la linéarité de l'appareil de traitement en contre-vérifiant la linéarité obtenue avec une autre chambre à ionisation.
- Dans le cas d'une acquisition de longue durée (grande quantité d'UM), une attention doit être portée à l'influence de la fuite résiduelle pendant le temps d'acquisition sur l'incertitude du point de mesure. Voir section 3.

#### 2.2.4 Mesure quantitative du courant de fuite résiduel

L'estimation du courant de fuite s'applique à l'ensemble de la chaîne d'acquisition (câble, électromètre, chambre). Il peut s'estimer par le rapport des charges cumulées pendant un temps donné, sans et avec irradiation.

Après réchauffement, stabilisation des équipements et mise à zéro de l'électromètre, réaliser les mesures A et B :

A = acquisition de charges sans irradiation dans un temps  $t$ .

B = acquisition de charges avec irradiation dans un temps  $t$ .

La mesure B peut être réalisée dans un montage de référence. Le temps  $t$  ainsi que le débit de dose devraient être adaptés aux conditions d'acquisition standards d'étalonnage d'un appareil de traitement, pour lesquelles la fuite résiduelle FR peut alors s'exprimer par :

$$FR = A/B$$

Seuils selon [1] :

Paramètre à évaluer	Tolérance	Intervention
Fuite résiduelle (FR)	0,1 %	0,2 %

Afin d'estimer la fuite résiduelle lors de mesures de plans de traitement, il faut tenir compte du débit de dose effectif au point de mesure (typiquement autour de 0,1 Gy/10 s pour des cas standards),

inférieur au débit de dose d'étalonnage d'un appareil de traitement (typiquement autour de 1 Gy/10 s aux énergies standards).

La fuite résiduelle pour des mesures de plans de traitement s'exprime donc par :

$$FR = r \times A/B,$$

où  $r$  correspond au rapport du débit de dose effectif au point de mesure lors de la mesure B et lors de la mesure de plans patient. Si la fuite résiduelle pour les conditions de mesure de plans de traitement dépasse les seuils du PCQR ci-dessus, il convient de tenir compte de cette incertitude lors de l'analyse des résultats ou de considérer le courant de fuite dans la mesure.

### 2.2.5 Appréciation qualitative du courant de fuite de la chaîne d'acquisition

L'estimation du courant de fuite s'applique à l'ensemble de la chaîne d'acquisition (câble, électromètre, chambre). Il peut s'estimer de manière qualitative en observant le courant lu à l'électromètre sans irradiation, après réchauffement des équipements et mise à zéro de l'électromètre.

Pour un courant  $A$  (nA) observé pendant un temps  $T$  (s) et une mesure de charges attendue  $C$  (nC), la fuite résiduelle qualitative  $FRq$  est donnée par :

$$FRq = T \times A/C.$$

Seuils selon [1] :

Paramètre à évaluer	Tolérance	Intervention
Fuite résiduelle qualitative (FRq)	0,1 %	0,2 %

### 2.2.6 Dépendance angulaire

Les chambres à ionisation cylindrique ne devraient pas montrer une dépendance angulaire dans une configuration où la tige est perpendiculaire à l'axe du faisceau et il est pertinent de vérifier cette propriété. Dans un montage de référence, irradier une même quantité d'unités moniteur en modifiant la rotation de la chambre autour de son axe (perpendiculairement au faisceau), sans modifier le montage ni la position de l'appareil de traitement.

Si un type de chambre est utilisé dans des conditions de faible *build-up*, l'indépendance angulaire devrait aussi être vérifiée dans cette configuration.

Seuils suggérés par ce présent guide :

Paramètre à évaluer	Tolérance	Intervention
Variation de la mesure de charge en fonction de la rotation de la chambre	0,1 %	0,2 %

### 2.2.7 Effet de tige ou courant hors volume sensible

L'influence du courant hors volume sensible (ou effet de tige) peut s'évaluer en comparant le signal d'une irradiation qui inclut le volume sensible seul avec le signal d'une irradiation qui inclut un plus grand volume du détecteur.

Dans un montage de référence, réaliser les mesures de charges dans les configurations A et B schématisées sur la figure 1 avec un même nombre d'unités moniteur. Des positions de mâchoires X et Y sont indiquées à titre d'exemple. Les deux configurations peuvent se réaliser à l'aide d'une rotation de la table ou d'une rotation de collimateur, mais devraient exclure de modifier la position des mâchoires dont la précision de positionnement peut influencer le résultat.



Fig 1. : Exemple de montage pour estimer le courant hors volume sensible.

L'effet de tige ET peut être estimé par :

$$ET = (A-B)/A$$

Exemple de valeurs possibles pour les positions des mâchoires indiquées sur la figure 1, considérant une chambre de type Farmer et des mesures en condition de référence :

$$X1 = 5 \text{ cm}, X2 = 15 \text{ cm}, Y1 = Y2 = 10 \text{ cm}.$$

Seuils selon [1] :

Paramètre à évaluer	Tolérance	Intervention
Signal hors volume sensible (ET)	0,5 %	1,0 %

### 2.2.8 Caractérisation des effets de tige en balayage de faisceau

Pour les détecteurs utilisés perpendiculairement à l'axe du faisceau lors des balayages de faisceau en cuve, il est pertinent de vérifier l'influence des effets de tige dans la forme et la position des pénombres.

Méthode suggérée pour une appréciation qualitative : pour une même direction de balayage, orienter le détecteur à  $\pm 180^\circ$  et réaliser un balayage pour les deux orientations comme schématisé sur la figure 2. Comparer ensuite qualitativement les pénombres des deux profils obtenus. Si une

différence significative est observable, une solution est d'orienter le détecteur parallèlement à l'axe du faisceau pour la mesure clinique des profils de faisceau.

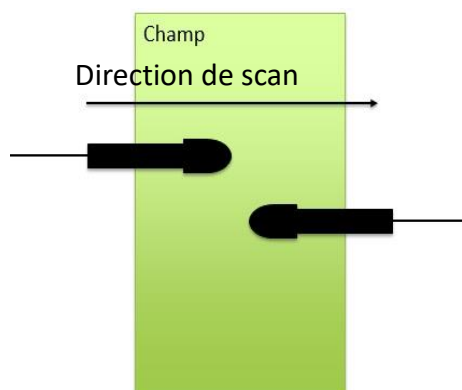


Fig 2. : Orientations du détecteur pour estimer l'effet de tige en balayage de faisceau.

Seuils suggérés par le présent guide :

Paramètre à évaluer	Intervention
Forme des pénombres	Différence qualitative significative observée

### 2.2.9 Caractérisation des effets de recombinaison et de polarité

Les effets de polarité et de recombinaison de charges pour une chambre à ionisation peuvent être pris en compte grâce à la caractérisation des paramètres  $P_{pol}$  et  $P_{ion}$  respectivement, définis dans [3]. Ces paramètres doivent être caractérisés pour chaque énergie de faisceau et sont déterminés à une tension donnée. Également,  $P_{ion}$  dépend de la dose par impulsion et est donc déterminé pour des conditions de référence. Cette dépendance doit être caractérisée et prise en compte pour des mesures en dehors de ces conditions spécifiques (voir section 2.2.10).

Dans [3], il est recommandé de caractériser  $P_{ion}$  et  $P_{pol}$  à chaque étalonnage (donc annuellement). Cependant l'expérience clinique montre que ces paramètres ne varient pas significativement dans le temps. Ce guide recommande donc de les vérifier minimalement aux deux ans pour les chambres utilisées en dosimétrie absolue.

Dans [3], des seuils sont considérés pour ces deux paramètres, au-delà desquels une chambre à ionisation ne devrait pas être utilisée pour l'étalonnage en dose des appareils de traitement :

Paramètre à évaluer	Valeur seuil
$P_{ion}$	< 1,05 (5,0 %)
$P_{pol}$	[0,996 – 1,004] ( $\pm 0,4$ %)

### 2.2.10 Caractérisation du taux de recombinaisons en fonction de la dose par impulsion

Le taux de recombinaisons des chambres à ionisation, et donc le signal récolté, est dépendant de la dose par impulsion [3, 4]. Il est donc important de vérifier que cette dépendance n'engendre pas d'écart de mesure de dose significatif sur une plage clinique notamment pour une mesure de rendement en profondeur ou une mesure de plan de traitement.

Une façon de varier la dose par impulsion peut consister à varier la distance source-surface (DSS) pour un détecteur placé dans un montage donné.

Deux méthodes sont proposées ci-dessous en a) avec l'utilisation d'un détecteur indépendant en dose par impulsion et b) sans détecteur indépendant. Également, une méthode directe de modélisation des effets de polarisation est proposée en c).

#### a) Méthode d'analyse avec un détecteur considéré indépendant en dose par impulsion :

Un exemple de détecteur considéré indépendant de la dose par impulsion est la fibre scintillante, ou bien un détecteur dont les rapports de dose sont corrigés pour sa dépendance (en la caractérisant avec la méthode b). Dans un montage de référence, réaliser des mesures de charges à différentes DSS, en délivrant un nombre d'unités moniteur constant avec un même débit de dose de l'appareil, pour le détecteur indépendant ( $C^{Det}$ ) et la chambre à ionisation ( $C^C$ ).

La dépendance en dose par impulsion (DDPI) en fonction du rapport de charges  $\frac{C^{IC}}{C^{ICR}}$  peut s'écrire :

$$DDPI \left( \frac{C^{IC}}{C^{ICR}} \right) = \frac{\frac{C^{IC}}{C^{ICR}} \cdot \frac{C^{Det}}{C^{DetR}}}{\frac{C^C}{C^{ICR}}},$$

avec  $C^{ICR}$  et  $C^{DetR}$  respectivement les charges de la chambre et du détecteur indépendant à des DSS de référence.

#### b) Méthode d'analyse sans utiliser de détecteur indépendant :

Une autre méthode consiste à estimer à différentes DSS le paramètre de recombinaison de charges défini dans [3] sous le nom de  $P_{ion}$ .

La variation de  $P_{ion}$  exprimé en fonction du rapport de charges  $\frac{C^{IC}}{C^{ICR}}$  est directement reliée à sa dépendance à la dose par impulsion :

$$DDPI \left( \frac{C^{IC}}{C^{ICR}} \right) = P_{ion} \left( \frac{C^{IC}}{C^{ICR}} \right).$$

Considération par rapport à la mesure par cette méthode : afin de ne pas biaiser les mesures avec les dépendances de la chambre à ionisation en fonction de l'énergie ainsi que de conserver une quantité équivalente de câble irradié, il est important d'adapter la taille de champ en fonction de la DSS afin de conserver une même taille de champ effective au point de mesure.

Seuils selon [1] (attachés au test nommé « linéarité en taux de dose ») :

Paramètre à évaluer	Tolérance	Intervention
Dépendance en dose par impulsion* (DDPI)	0,5 %	1,0 %

\*pour une charge mesurée relative à une charge de référence acquise dans une même durée d'acquisition.

c) Méthode de modélisation des effets de polarisation grâce aux tracés de Jaffé :

Cette méthode consiste à établir pour une chambre et une tension données les constantes  $C_{init}$  et  $C_{gen}$  définis dans [4],  $C_{init}$  tenant compte de la recombinaison initiale et  $C_{gen}$  tenant compte de la recombinaison générale (volumique). Le paramètre de recombinaison de charges défini dans [3] sous le nom de  $P_{ion}$  est ensuite obtenu directement à partir de la dose par impulsion  $D_p$  selon la formule [4] :

$$P_{ion}(U, D_p) = 1 + (U_{usage} / U) \times (C_{init} + C_{gen} \times D_p),$$

où  $U$  est la tension réelle appliquée à la chambre,  $U_{usage}$  est la tension à laquelle les paramètres  $C_{init}$  et  $C_{gen}$  ont été établis.

Une méthode possible pour extraire  $C_{init}$  et  $C_{gen}$  est d'établir des tracés de Jaffé [5] dans un matériel équivalent à l'eau, pour au moins 3 doses par impulsion différentes, à débit de dose constant. Il est possible de varier la dose par impulsion en modifiant la profondeur ou la DSS, tout en adaptant la taille de champ afin de ne pas modifier l'énergie moyenne des photons lors de la mesure. Également, pour les appareils pour lesquels la fréquence de répétition des impulsions varie selon l'énergie, il est possible d'établir les tracés de Jaffé à 3 énergies différentes à la profondeur de référence.

À la profondeur de référence, la dose par impulsion  $D_{p,cal}$  [cGy] est donnée par :

$$D_{p,cal} = \text{débit} / PRF,$$

où *débit* est le débit de dose de l'appareil [cGy.s<sup>-1</sup>] à la profondeur de référence, et *PRF* est la fréquence de répétition des impulsions, en s<sup>-1</sup>.

En modifiant la profondeur  $d$  ou la DSS, la dose par impulsion  $D_{p,d}$  [cGy] est donnée par :

$$D_{p,d} = D_{p,cal} \times M_d / M_{cal},$$

où  $M_d$  et  $M_{cal}$  sont respectivement les mesures de charges à la profondeur  $d$  et à la profondeur de référence.

Dans un faisceau à débit constant, la dose par impulsion est donc connue et on peut établir un tracé de Jaffé en mesurant  $1/M$  en fonction de  $1/U$ , où  $M$  est la charge récoltée, en nC, et  $U$ , la tension appliquée à la chambre, en V. Pour s'affranchir des conditions environnementales, il est recommandé de disposer une chambre de référence en aval du faisceau et de tracer  $M_{réf}/M$ . Pour établir le tracé, on fera varier la tension sur la chambre principale, en gardant la tension constante sur la chambre de référence. De même, pour bénéficier d'un faisceau avec un débit le plus constant possible, il est recommandé de faire des mesures chronométrées (environ 10–15 s chacune) après avoir attendu la stabilisation du faisceau.

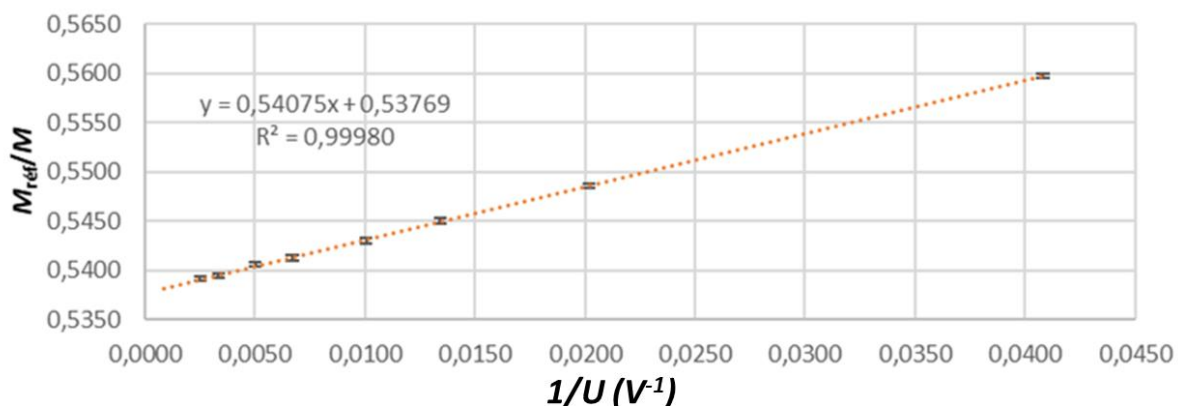


Fig. 3 : Exemple de tracé de Jaffé pour une chambre Farmer dans un faisceau de photons à 6 MV (PRF = 400 Hz)

Pour chaque tracé de Jaffé ( $M_{\text{réf}}/M$  vs  $1/U$ ), on peut vérifier que la tension d'usage est bien dans l'intervalle où la courbe est linéaire et que la méthode de mesure à deux tensions de [3] est donc valide. Une interpolation linéaire sur la section linéaire du tracé permet d'extraire l'ordonnée à l'origine, notée  $b$ .

À la profondeur où les tracés de Jaffé ont été établis, la valeur de  $P_{\text{ion}}(U_{\text{usage}})$  est donnée par :

$$P_{\text{ion}}(U_{\text{usage}}) = M_{\text{réf}} / M(U_{\text{usage}}) / b,$$

Finalement, avec les trois valeurs de  $D_p$  et leur  $P_{\text{ion}}$  associé, il est possible de modéliser les paramètres  $C_{\text{init}}$  et  $C_{\text{gen}}$  pour la tension d'usage  $U_{\text{usage}}$ .

Par la suite, à chaque utilisation de la chambre d'ionisation où la dose par impulsion est connue, il sera possible de calculer directement la valeur de  $P_{\text{ion}}$  sans devoir le mesurer par la méthode des 2 tensions.

### 2.2.11 Caractérisation des effets de polarité en déséquilibre électronique

Dans des configurations de mesure en déséquilibre électronique, les effets de polarité peuvent devenir significatifs, notamment pour des mesures dans des zones de *build-up* ou dans des configurations de type « petits champs » où des détecteurs de la famille des micro-chambres sont utilisés, pour lesquels les effets de polarité sont davantage présents que pour les chambres de plus gros volume [6].

Pour une chambre à ionisation utilisée dans ce type de configuration, il est donc pertinent d'estimer la valeur du paramètre  $P_{\text{pol}}$ , défini dans [3], afin de déterminer les impacts cliniques des effets de polarité. Dans le cas où  $P_{\text{pol}}$  est supérieur à un seuil significatif, il devient nécessaire de moyenniser les résultats cliniques mesurés aux 2 polarités.

Seuils suggérés par le présent guide :

<b>Paramètre à évaluer</b>	<b>Tolérance</b>	<b>Intervention</b>
$P_{\text{pol}}$ en déséquilibre électronique	0,2 %	0,4 %

## 3 ÉLECTROMÈTRES

### 3.1 Fréquence des contrôles

3.1.1 À l'acquisition ou après un bris ou une réparation, puis aux deux ans :

- ⇒ Vérification du courant de fuite intrinsèque.
- ⇒ Vérification de la tension réelle appliquée.
- ⇒ Caractérisation du paramètre  $P_{elec}$
- ⇒ Vérification du mode à déclenchement automatique

3.1.2 À l'utilisation :

- ⇒ Vérification de l'affichage de la tension demandée.

## 3.2 Description des méthodes et seuils

### 3.2.1 Vérification du courant de fuite intrinsèque

Le courant de fuite intrinsèque de l'électromètre permet de vérifier que l'équipement ne présente pas de lecture ou de dérive anormale. Avant de réchauffer l'ensemble des équipements de mesure, sans brancher de câble ni de chambre, et sans mise à zéro de l'électromètre, vérifier que le courant lu par l'électromètre « à vide » reste faible et ne varie pas dans le temps de manière significative.

Seuils selon [1] :

Paramètre à évaluer	Tolérance	Intervention
Fuite intrinsèque	0,1 %	0,2 %

### 3.2.2 Vérification de la tension réelle appliquée

La tension appliquée par l'électromètre ainsi que sa répétabilité devraient être validées pour les tensions d'usage à l'acquisition ou après un bris, en utilisant un multimètre. Dépendamment des modèles, une sonde à haute tension peut être nécessaire afin de ne pas modifier l'impédance de sortie de l'électromètre lors de la lecture. Répéter plusieurs fois l'application de la tension et sa mesure et valider en même temps la valeur de la tension affichée par l'électromètre (voir section 3.2.5)

Seuils suggérés par le présent guide :

Paramètre à évaluer	Tolérance	Intervention
Valeur moyenne de la tension mesurée	1 %	2 %
Répétabilité de la tension mesurée	1%	2%

### 3.2.3 Caractérisation du paramètre $P_{elec}$

Le biais de lecture de charges par un électromètre, introduit par une différence de gain intrinsèque des équipements, est pris en compte grâce à la caractérisation du paramètre  $P_{elec}$ , défini dans [3], par rapport à un électromètre de référence envoyé en étalonnage aux 2 ans avec la chambre de référence au laboratoire accrédité.

### 3.2.4 Vérification du mode à déclenchement automatique

Si l'équipement possède un canal d'acquisition en déclenchement automatique (« *trigger* »), il est nécessaire de vérifier la reproductibilité de lecture de charges entre ce mode de lecture et le mode de lecture en continu. Avec l'électromètre relié à un détecteur dans un montage de référence, pour un même nombre d'unités moniteur délivrées, comparer les mesures de charges dans les deux modes d'acquisition.

Seuils suggérés par le présent guide :

Paramètre à évaluer	Tolérance	Intervention
Différence relative de mesure de charges entre les modes de lecture	0,1 %	0,2 %

Remarque au sujet du mode à déclenchement automatique : Dans des conditions de mesures qui incluent des faibles courants, le déclenchement automatique peut sous-estimer ou tronquer la mesure. Une lecture de charges en mode continu peut être nécessaire dans ces conditions.

### 3.2.5 Vérification de l'affichage de la tension demandée

La tension affichée par l'électromètre doit correspondre à la tension demandée par l'utilisateur.

Seuils selon [1] (attachés au test nommé « Répétabilité du potentiel électrique »):

Paramètre à évaluer	Tolérance	Intervention
Tension affichée à l'électromètre relative à la tension demandée par l'utilisateur	1,0 %	2,0 %

## 4 RÉFÉRENCES

- [1] PCQR, [Code de pratique du contrôle de la qualité technique du principal équipement de dosimétrie](#), MDE.204.02.02
- [2] Sous-comité pour l'assurance de la qualité de l'AQPMC, [Rapport de conformité de \[1\]](#), 2023
- [3] P.R.Almond et al., AAPM's TG-51 protocol for clinical reference dosimetry of high-energy photon and electron beams, *Med. Phys.* 26 (9), 1999
- [4] McEwen et al., Addendum to the AAPM's TG-51 protocol for clinical reference dosimetry of high-energy photon and electron beams, *Med. Phys.* 41 (4), 2014
- [5] Bruggmoser et al., Determination of the recombination correction factor  $k_s$  for some specific plane-parallel and cylindrical ionization chambers in pulsed photon and electron beams, *Phys. Med. Biol.* 52 (2007), N35–N50
- [6] AIEA TRS-483, Dosimetry of small static fields used in external beam radiotherapy, 2017