

NORME INTERNATIONALE INTERNATIONAL STANDARD

CEI
IEC
731

1982



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

MODIFICATION n° 1
AMENDMENT No. 1

Juin 1987
June 1987

Modification n° 1 à la Publication 731 (1982)

Appareils électromédicaux

Dosimètres à chambres d'ionisation utilisés en radiothérapie

Amendment No. 1 to Publication 731 (1982)

Medical electrical equipment

Dosimeters with ionization chambers as used in radiotherapy

© CEI 1987 Droits de reproduction réservés – Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale 3, rue de Varembe Genève, Suisse

PRÉFACE

La présente modification a été établie par le Sous-Comité 62C: Appareils de rayonnement à haute énergie et appareils destinés à la médecine nucléaire du Comité d'Etudes n° 62 de la CEI: Equipements électriques dans la pratique médicale.

Le texte de cette modification est issu des documents suivants:

Règle des Six Mois	Rapport de vote
62C(BC)37	62C(BC)42

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

Page 8

1. Domaine d'application et objet

1.1 *Domaine d'application*

Ajouter le nouveau paragraphe suivant:

1.1.5 La présente modification spécifie des prescriptions de performance complémentaires ou de remplacement, afin d'étendre le domaine d'application de la Publication 731 de la CEI pour inclure les dosimètres à CHAMBRES D'IONISATION utilisés en radiothérapie pour le mesurage de la dose absorbée dans les faisceaux de photons d'énergie supérieure à 3 MeV et dans les faisceaux d'électrons.

Les dosimètres destinés à être utilisés à la fois pour effectuer des mesures dans le domaine d'énergie spécifié dans la Publication 731 et dans les rayonnements spécifiés dans cette modification doivent satisfaire à toutes les prescriptions appropriées de la Publication 731 et de la présente modification.

Pour les ENSEMBLES DE CHAMBRE destinés à être utilisés uniquement avec les rayonnements spécifiés dans la présente modification, les paragraphes 4.1.7, 4.2.1, 4.3.1, 4.2.4 et 4.3 ne sont pas à prendre en considération. Toutes les autres prescriptions de la Publication 731 doivent être appliquées le cas échéant.

Les systèmes de surveillance de dose incorporés dans les équipements de radiothérapie ne sont pas couverts par cette modification.

Note. — Le terme «dose absorbée», dans cette modification, se rapporte à la grandeur «dose absorbée dans l'eau». Les prescriptions de cette modification doivent s'appliquer aussi aux dosimètres destinés à mesurer d'autres grandeurs liées. Dans de tels cas, la grandeur «dose absorbée dans l'eau» doit être remplacée par la grandeur appropriée.

Page 10

3. Prescriptions générales

PREFACE

This amendment has been prepared by Sub-Committee 62C: High-energy Radiation Equipment and Equipment for Nuclear Medicine of IEC Technical Committee No. 62: Electrical Equipment in Medical Practice.

The text of this amendment is based upon the following documents:

Six Months' Rule	Report on Voting
62C(CO)37	62C(CO)42

Full information on the voting for the approval of this standard can be found in the Voting Report indicated in the above table.

Page 9

1. Scope and object

1.1 Scope

Add the following new sub-clause:

- 1.1.5 This amendment to IEC Publication 731 specifies additional or replacement requirements for performance which extend the scope of IEC Publication 731 to include dosimeters with ionization chambers intended for use in radiotherapy for the measurement of absorbed dose in photon beams at energies above 3 MeV and in electron beams.

Dosimeters intended for use both in the energy range specified in IEC Publication 731 and for the radiations specified in this amendment shall meet all the appropriate requirements of both IEC Publication 731 and this amendment.

For CHAMBER ASSEMBLIES intended for use only in the radiations specified in this amendment, Sub-clauses 4.1.7, 4.2.1, 4.3.1, 4.2.4 and 4.3 are irrelevant. All other requirements of IEC Publication 731 shall apply where appropriate.

The dose monitoring systems incorporated in radiotherapy equipment are not covered by this amendment.

Note. — The term “absorbed dose” refers in this amendment to the quantity “absorbed dose to water”. The requirements of this amendment shall apply also to dosimeters intended to measure other related quantities. In such cases, the quantity absorbed dose to water shall be replaced by the appropriate quantity.

Page 11

3. General requirements

Page 14

3.7 Tableaux récapitulatifs

TABLEAU I

CONDITIONS DE RÉFÉRENCE et CONDITIONS D'ESSAIS NORMALISÉES

Ia — ENSEMBLE DE CHAMBRE

Ajouter ce qui suit:

GRANDEUR D'INFLUENCE ou paramètre d'instrument	CONDITIONS DE RÉFÉRENCE	CONDITIONS D'ESSAI NORMALISÉES
Profondeur de la chambre dans le fantôme (g/cm ²) Distance source-fantôme Matériau au fantôme	Comme à l'étalonnage Comme à l'étalonnage Comme à l'étalonnage	VALEUR DE RÉFÉRENCE VALEUR DE RÉFÉRENCE Matériau de référence

Page 18

TABLEAU III

LIMITES DE VARIATION de RÉPONSE pour les effets de GRANDEURS D'INFLUENCE

IIIa — ENSEMBLE DE CHAMBRE

Ajouter ce qui suit:

GRANDEUR D'INFLUENCE ou paramètre d'instrument	DOMAINE NOMINAL minimal	LIMITES DE VARIATION		Note	Paragraphe
		CLASSE DE RÉFÉRENCE (%)	CLASSE DE ROUTINE (%)		
Qualité de rayonnement, rayons X et γ	Rayon γ du Co-60 rayon X de 25 MV	± 2	± 2		4.2.1 et 4.3.1
Qualité de rayonnement, électrons	5 MeV à 25 MeV	± 2	± 2		4.2.1 et 4.3.1
Dose absorbée par impulsion	Comme indiqué par le constructeur	$\pm 0,5$	± 1		4.4.4.1
Tension de polarisation	Maximum autorisé des valeurs positives et négatives	0,5*	1	*	4.4.11

* Pourcentage de changement de la RÉPONSE à la suite de l'inversion de la polarité dans les conditions d'irradiation spécifiées, mesuré après stabilisation de la RÉPONSE à chaque polarité (voir paragraphe 4.4.2).

Page 15

3.7 Summary tables

TABLE I
REFERENCE CONDITIONS and STANDARD TEST CONDITIONS

Ia — CHAMBER ASSEMBLY

Add the following:

INFLUENCE QUANTITY or instrument parameter	REFERENCE CONDITIONS	STANDARD TEST CONDITIONS
Depth of chamber in phantom (g/cm ²)	As at calibration	REFERENCE VALUE
Source to phantom distance	As at calibration	REFERENCE VALUE
Material of phantom	As at calibration	Reference material

Page 19

TABLE III
LIMITS OF VARIATION of RESPONSE for effects of INFLUENCE QUANTITIES

IIIa — CHAMBER ASSEMBLY

Add the following:

INFLUENCE QUANTITY or instrument parameter	Minimum RATED RANGE	LIMITS OF VARIATION		Note	Sub-clause
		REFERENCE CLASS (%)	FIELD CLASS (%)		
Radiation quality; X- and γ rays	Co-60 γ rays - 25 MV X-rays	± 2	± 2		4.2.1 and 4.3.1
Radiation quality; electron	5 MeV to 25 MeV	± 2	± 2		4.2.1 and 4.3.1
Absorbed dose per pulse	As stated by manufacturer	± 0.5	± 1		4.4.4.1
Polarizing voltage	Maximum permitted positive and negative values	0.5*	1	*	4.4.11

* Percentage change of RESPONSE caused by reversal of polarity under specified irradiation conditions, measured after stabilization of RESPONSE at each polarity (see Sub-clause 4.4.2).

Page 20

4. ENSEMBLE DE CHAMBRE

Page 24

4.1.8 Utilisation dans un fantôme

Ajouter ce qui suit:

Si un fantôme solide ou rempli de liquide est destiné à localiser le volume utile de la CHAMBRE D'IONISATION à une profondeur (ou des profondeurs) spécifiée(s) dans un milieu et dans une position spécifiée relative à l'axe du faisceau de rayonnement, les prescriptions suivantes s'appliquent:

- la tolérance de la profondeur du POINT DE RÉFÉRENCE de la CHAMBRE D'IONISATION (mesurée le long de l'axe du faisceau de rayonnement à partir de la surface du fantôme la plus proche de la source de rayonnement) de chaque valeur minimale spécifiée pour le fantôme doit être $\pm 0,5$ mm ou $\pm 1\%$ de la valeur nominale, selon la valeur la plus grande (voir figure 1, page 14).
- la tolérance de la position latérale du POINT DE RÉFÉRENCE de la CHAMBRE D'IONISATION relative à la position prévue de l'axe du faisceau de rayonnement (qui est marquée sur le fantôme, voir paragraphe 7.4) doit être ± 1 mm (voir figure 2, page 14).

Si le fantôme est conçu pour recevoir deux ou plus de deux CHAMBRES D'IONISATION simultanément, les prescriptions précédentes doivent s'appliquer également à chaque position de chambre. Les prescriptions doivent aussi s'appliquer si des adaptateurs amovibles sont prévus pour permettre l'emploi de différents types de CHAMBRES D'IONISATION dans le fantôme.

La vérification est effectuée par mesurage.

4.2.1 Qualité de rayonnement

Remplacer le texte de ce paragraphe par ce qui suit:

Le DOMAINE NOMINAL des qualités de rayonnement doit être au moins du Co-60 rayonnement gamma à 25 MV rayonnement-X et/ou de 5 MeV à 25 MeV électrons.

Les LIMITES DE VARIATION de la RÉPONSE dans le DOMAINE NOMINAL, en fonction de l'énergie du rayonnement, d'une CHAMBRE D'IONISATION doivent être $\pm 2\%$ par rapport à une RÉPONSE spécifiée en fonction de l'énergie, obtenue par calcul ou à la suite de mesures pour ce type de chambre.

Un essai de conformité est à l'étude.

Page 32

4.3.1 Qualité de rayonnement

Remplacer le texte de ce paragraphe par ce qui suit:

Le DOMAINE NOMINAL des qualités de rayonnement doit être au moins du Co-60 rayonnement gamma à 25 MV rayonnement-X et/ou de 5 MeV à 25 MeV électrons.

Les LIMITES DE VARIATION de la RÉPONSE, en fonction de l'énergie du rayonnement, d'une CHAMBRE D'IONISATION doivent être $\pm 2\%$ par rapport à une RÉPONSE spécifiée en fonction de l'énergie, obtenue par calcul ou à la suite de mesures pour ce type de chambre.

Un essai de conformité est à l'étude.

Page 21**4. CHAMBER ASSEMBLY****Page 25****4.1.8 Use in a phantom**

Add the following:

When a solid or liquid-filled phantom is intended to locate the sensitive volume of an IONIZATION CHAMBER at a specified depth (or depths) in a medium and in a specified position relative to the axis of the radiation beam, the following requirements apply:

- the tolerance of the depth of the REFERENCE POINT of the IONIZATION CHAMBER (measured along the axis of the radiation beam from the surface of the phantom nearest to the source of radiation) from each nominal value specified for the phantom shall be ± 0.5 mm or $\pm 1\%$ of the nominal value, whichever is the greater (see Figure 1, page 14).
- the tolerance of the lateral position of the REFERENCE POINT of the IONIZATION CHAMBER relative to the intended position of the axis of the radiation beam (which is marked on the phantom, see Sub-clause 7.4) shall be ± 1 mm (see Figure 2, page 14).

If the phantom is designed to accept two or more IONIZATION CHAMBERS simultaneously the above requirements shall apply equally to each chamber position. The requirements shall also apply if removable adaptors are provided in order to fit a number of different types of IONIZATION CHAMBER into the phantom.

Compliance shall be checked by measurement.

4.2.1 Radiation quality

Replace the text of this sub-clause by the following:

The RATED RANGE of radiation qualities shall be at least from Co-60 Gamma-rays to 25 MV X-rays and/or from 5 MeV electrons to 25 MeV electrons.

Within this RATED RANGE the LIMITS OF VARIATION of RESPONSE of an IONIZATION CHAMBER with radiation energy shall be $\pm 2\%$ from a specified RESPONSE as a function of the energy, calculated or measured for that type of chamber.

A compliance test is under consideration.

Page 33**4.3.1 Radiation quality**

Replace the text of this sub-clause by the following:

The RATED RANGE of radiation qualities shall be at least from Co-60 Gamma-rays to 25 MV X-rays and/or from 5 MeV electrons to 25 MeV electrons.

Within this RATED RANGE the LIMITS OF VARIATION of RESPONSE of an IONIZATION CHAMBER with radiation energy shall be $\pm 2\%$ from a specified RESPONSE as a function of the energy, calculated or measured for that type of chamber.

A compliance test is under consideration.

Page 38

Ajouter le nouveau paragraphe suivant:

4.4.4.1 Dose absorbée par impulsion

Les LIMITES DE VARIATION de la RÉPONSE aux sources de rayonnement pulsées dans le DOMAINE NOMINAL de la dose absorbée par impulsion doivent être $\pm 0,5\%$ ($\pm 1\%$) (voir paragraphes A2.2.9 et 3.3). Cette prescription vient en supplément de celle du paragraphe 4.4.4 qui se rapporte à la dépendance de la RÉPONSE en fonction du débit (moyen) d'exposition pour une irradiation continue.

La vérification peut être effectuée:

- 1) par la même méthode d'essai que celle du paragraphe 4.4.4 sauf que la grandeur «débit d'exposition» est remplacée par la grandeur «dose absorbée par impulsion» et que la correction de saturation est obtenue par extrapolation à $1/V = 0$ d'un graphe de I en fonction de $1/V$, où I est le courant d'ionisation et V la tension de polarisation (cette analyse s'applique quand le temps de collection des ions dans la chambre est court comparé au temps entre les impulsions et long comparé à la durée de l'impulsion), ou
- 2) par la technique des «deux tensions» décrite dans le Rapport de l'ICRU 34 (1982).

Page 42

Ajouter le nouveau paragraphe suivant:

4.4.11 Polarité de la tension de polarisation

Dans le DOMAINE NOMINAL des qualités de rayonnement, la différence observée entre les valeurs indiquées obtenues avec les valeurs maximales positive et négative admissibles des tensions de polarisation doit être inférieure à $0,5\%$ (1%) ou bien on doit indiquer des facteurs de correction à appliquer pour obtenir une INCERTITUDE GLOBALE inférieure à $0,5\%$ (1%) (voir paragraphes A2.2.9 et 3.3).

La vérification peut être effectuée en utilisant un moniteur de transmission (par exemple une CHAMBRE D'IONISATION ou un transformateur d'impulsions), ou deux CHAMBRES D'IONISATION, de préférence du même type, placées simultanément à la même profondeur dans un fantôme. Dans ce dernier cas une des chambres, dont la polarité reste fixe, agit comme moniteur pour l'autre chambre pendant que l'on procède à des séries de mesurages avec des tensions tantôt positives, tantôt négatives. Il est essentiel d'attendre suffisamment pour obtenir la stabilisation de la RÉPONSE après avoir procédé à un changement de polarité (voir paragraphe 4.4.2).

Pour cet essai, la dimension du champ ne doit pas être inférieure à celle d'un cercle de 10 cm de diamètre, et le POINT DE RÉFÉRENCE de la chambre en essai doit être placé au centre du champ.

Quand il s'agit d'un ENSEMBLE DE CHAMBRE déclaré adapté pour une utilisation dans les faisceaux d'électrons, cet essai doit être effectué avec le POINT DE RÉFÉRENCE de la chambre situé à une profondeur non inférieure à $0,5 \text{ g/cm}^2$ dans un fantôme. L'énergie du faisceau d'électrons la plus probable à la profondeur de la chambre dans le fantôme doit être telle qu'elle ne soit pas supérieure à l'énergie assignée minimale. Par exemple, si l'énergie assignée est 5 MeV, l'essai peut être effectué en utilisant une énergie du faisceau de 6 MeV ou moins.

Quand il s'agit d'autres ENSEMBLES DE CHAMBRE, on doit effectuer cet essai à une profondeur de 5 g/cm^2 dans un fantôme utilisant le rayonnement gamma du cobalt 60.

Page 39

Add the following new sub-clause:

4.4.4.1 Absorbed dose per pulse

The LIMITS OF VARIATION of RESPONSE to pulsed radiation sources over the RATED RANGE of absorbed dose per pulse shall be $\pm 0.5\%$ ($\pm 1.0\%$) (see Sub-clauses A2.2.9 and 3.3). This requirement is in addition to that of Sub-clause 4.4.4 which refers to the dependence of RESPONSE on (mean) exposure rate in continuous radiation.

Compliance may be checked:

- 1) by the same test method as that of Sub-clause 4.4.4 except that the quantity "exposure rate" is replaced by the quantity "absorbed dose per pulse" and the saturation correction is derived from an extrapolation to $1/V = 0$ of a graph of I against $1/V$, where I is the ionization current and V is the polarizing voltage (this analysis applies when the ion collection time in the chamber is short compared with the time between pulses and long compared with the duration of the pulse), or
- 2) by the "two voltage" technique described in ICRU Report 34 (1982).

Page 43

Add the following new sub-clause:

4.4.11 Polarity of polarizing voltage

The difference between indicated values obtained within the RATED RANGE of radiation qualities with the maximum permitted positive and negative values of polarizing voltages shall be less than 0.5% (1%) or correction factors shall be given for an OVERALL UNCERTAINTY less than 0.5% (1%) (see Sub-clauses A2.2.9 and 3.3).

Compliance may be checked using a transmission monitor (for example, an IONIZATION CHAMBER or pulse transformer) or two IONIZATION CHAMBERS, preferably of the same type, together at the same depth in a phantom. In the latter case, one chamber with a fixed polarity acts as a monitor for the other one, while a series of measurements with positive and negative voltage is made. It is essential to allow sufficient time for stabilization of RESPONSE after reversing polarity (see Sub-clause 4.4.2).

For this test, the field size shall be not less than a circle of 10 cm diameter, and the REFERENCE POINT of the chamber under test shall be placed at the centre of the field.

For a CHAMBER ASSEMBLY claimed to be suitable for use in electron beams, this test shall be carried out with the REFERENCE POINT of the chamber at a depth of not less than 0.5 g/cm² in a phantom. The energy of the electron beam shall be such that the most probable electron energy at the depth of the chamber in the phantom is not more than the minimum rated energy. For example, if the minimum rated energy is 5 MeV, the test may be carried out using a beam energy of 6 MeV or less.

For other CHAMBER ASSEMBLIES, this test shall be carried out at a depth of 5 g/cm² in a phantom using Cobalt-60 gamma-rays.

Page 80

7. Marquages

Page 84

Ajouter le nouveau paragraphe suivant:

7.4 Fantôme et capuchon d'équilibre électronique

Le fantôme doit posséder des repères afin d'indiquer:

- a) quelle surface devrait être la plus proche de la source de rayonnement,
- b) la position prévue de l'axe du faisceau de rayonnement sur les surfaces d'entrée et de sortie de radiation du fantôme,
- c) la position prévue du POINT DE RÉFÉRENCE de la CHAMBRE D'IONISATION (ou CHAMBRES) si différente de b), également sur les surfaces d'entrée et de sortie de radiation du fantôme.

Afin d'indiquer la méthode prévue d'assemblage, des repères doivent exister sur le fantôme et les accessoires tels que feuilles, capuchons ou blocs des matériaux d'empilement.

La vérification est effectuée par examen.

Page 84

8. Instructions d'emploi

Page 86

8.3 ENSEMBLE DE CHAMBRE

8.3.1 Construction

Remplacer le texte du point b) par ce qui suit:

les dimensions, les densités et les matériaux constitutifs des parois de la CHAMBRE D'IONISATION, de l'électrode collectrice et de l'isolant, du manche et des parties habituellement irradiées, ainsi que le matériau et l'épaisseur de tous les revêtements conducteurs.

La vérification est effectuée par l'examen des documents d'accompagnement.

Page 92

Ajouter le nouveau paragraphe suivant:

8.7 FANTÔME ET CAPUCHON D'ÉQUILIBRE ÉLECTRONIQUE

Si un fantôme ou un capuchon d'équilibre électronique est prévu pour des opérations d'étalonnage ou d'utilisation de routine d'une CHAMBRE D'IONISATION, la composition chimique, la densité et le nom du fabricant du matériau doivent être indiqués dans les documents d'accompagnement. Ces informations doivent aussi être fournies pour tous autres accessoires, tels que feuilles complémentaires, capuchons ou blocs de matériaux d'empilement. On doit indiquer aussi la profondeur nominale du POINT DE RÉFÉRENCE de la CHAMBRE D'IONISATION (mesurée à partir de la face irradiée du fantôme).

La vérification est effectuée par examen des instructions d'emploi.

Page 81**7. Markings****Page 85**

Add the following new sub-clause:

7.4 Phantom and build-up cap

The phantom shall be marked to indicate:

- a) which surface should be nearest the source of radiation,
- b) the intended position of the axis of the beam of radiation on the radiation entry and exit faces of the phantom,
- c) the intended position of the REFERENCE POINT of the IONIZATION CHAMBER (or CHAMBERS) if different from b), also on the radiation entry and exit faces of the phantom.

The phantom and any additional sheets, caps or blocks of build-up material shall be marked to indicate the intended method of assembly.

Compliance shall be checked by inspection.

Page 85**8. Instructions for use****Page 87****8.3 CHAMBER ASSEMBLY****8.3.1 Construction**

Replace the text of Item b) by the following:

the dimensions, densities and materials of IONIZATION CHAMBER walls, collector electrode and insulator, stem and all customarily irradiated parts, and the material and thickness of all conductive coatings.

Compliance shall be checked by inspection of the accompanying documents.

Page 93

Add the following new sub-clause:

8.7 PHANTOM AND BUILD-UP CAP

If a phantom or build-up cap is provided for calibrating or routinely using an IONIZATION CHAMBER, the chemical composition, density and manufacturer of the material shall be stated in the accompanying documents. This information shall also be given for any additional sheets, caps or blocks of build-up material provided. The nominal depth of the REFERENCE POINT of the IONIZATION CHAMBER (measured from the radiation-entry face of the phantom) shall also be stated.

Compliance shall be checked by inspection of the instructions for use.

JUSTIFICATION

*Influence sur la performance des ENSEMBLES DE CHAMBRE**Construction et matériaux*

La dosimétrie par ionométrie des photons de haute énergie et des électrons repose sur le principe de la cavité de Bragg-Gray. Une CHAMBRE D'IONISATION remplie de gaz, par sa présence dans le champ de rayonnement, modifie inéluctablement celui-ci. Il convient de minimiser l'importance de cette perturbation à la conception, minimisant, par la même occasion, tout écart par rapport à la cavité «idéale» préconisée dans le principe. Il convient, en général, de minimiser les dimensions du volume sensible de la CHAMBRE D'IONISATION dans la direction de l'irradiation, réduisant par là même son effet perturbateur ainsi que l'incertitude quant à la position du point de mesurage utile de la chambre. Cette prescription est très facilement satisfaite par des chambres à électrodes parallèles dans le cas de faisceaux d'électrons.

Il est nécessaire de fournir autant d'informations que possible sur la nature physique et chimique des matériaux utilisés dans la fabrication des ENSEMBLES DE CHAMBRE, des fantômes et des capuchons d'équilibre électronique. Ces informations permettent à l'utilisateur d'estimer l'importance des variations qui résultent de la composition des matériaux, par exemple la RÉPONSE de la chambre en fonction de l'énergie du rayonnement et du degré d'activation induit par le rayonnement.

Débit de dose et effet de polarité

Les paramètres qui doivent être spécialement tenus en compte aux énergies élevées sont la nature pulsée du rayonnement (voir paragraphe 4.4.4.1) et la polarité de la tension de polarisation, en particulier pour les faisceaux d'électrons d'énergie inférieure à 10 MeV (voir paragraphe 4.4.11).

Les machines à haute énergie telles que les accélérateurs linéaires et les bêtatrons émettent des faisceaux d'impulsions de courte durée, généralement de quelques microsecondes, avec une fréquence de répétition des impulsions comprise habituellement entre 50 Hz et 1000 Hz. La CHAMBRE D'IONISATION doit cependant avoir une efficacité de collection des charges suffisamment élevée pour donner une RÉPONSE correcte vis-à-vis de telles sources.

Si le rayonnement primaire consiste en un faisceau d'électrons, il est possible que sa charge négative puisse être ajoutée directement à l'entrée de l'ENSEMBLE DE MESURE. Cette situation peut amener une erreur dans la charge mesurée suivant la polarité de la tension de polarisation. L'importance et le signe de la variation peuvent dépendre de l'énergie du rayonnement. Ce genre de situation peut également être observé avec l'absorption de l'émission d'électrons secondaires dans les faisceaux de photons; de même des effets dus à l'irradiation du câble et des effets de fuites dans le manche peuvent aussi dépendre de la polarité.